



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STAVEBNÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

**ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ**

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

**ZÁSOBOVÁNÍ PITNOU VODOU BEZ POUŽITÍ  
DESINFEKČNÍHO ČINIDLA**

WATER SUPPLY WITHOUT A RESIDUAL DISINFECTANT

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

DIPLOMA THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

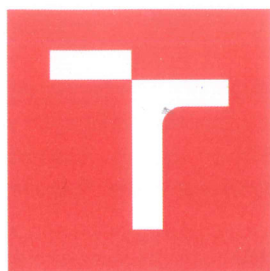
**Bc. Markéta Rajnochová**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. JAN RUČKA, Ph.D.**

**BRNO 2017**




# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM	N3607 Stavební inženýrství
TYP STUDIJNÍHO PROGRAMU	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
STUDIJNÍ OBOR	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
PRACOVISTĚ	Ústav vodního hospodářství obcí

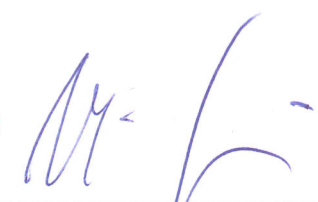
## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

DIPLOMANT	Bc. Markéta Rajnochová
NÁZEV	Zásobování pitnou vodou bez použití desinfekčního činidla
VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE	Ing. Jan Ručka, Ph.D.
DATUM ZADÁNÍ	31. 3. 2016
DATUM ODEVZDÁNÍ	13. 1. 2017

V Brně dne 31. 3. 2016

  
.....  
doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.  
Vedoucí ústavu



  
.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

- [1] Kožíšek, F. a kol., 2006. Hygienické minimum pro pracovníky ve vodárenství, Státní zdravotní ústav, Praha.  
[2] Tuhovčák, L. a kol., 2010. WaterRisk - Analýza rizik veřejných vodovodů, Závěrečná monografie projektu WaterRisk, 254 s., ISBN 978-80-7204-676-8; vydalo Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno  
[3] Kooij, D., 2014. Microbial Growth in Drinking-Water Supplies, ISBN: 9781780400402, IWA Publishing, London  
[4] Odborné články ze seminářů a konferencí

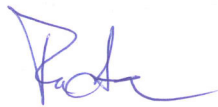
## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ (ZADÁNÍ, CÍLE PRÁCE, POŽADOVANÉ VÝSTUPY)

V rámci diplomové práce bude provedena rešerše odborné literatury v oblasti zdokumentovaných příkladů systémů zásobování pitnou vodou bez použití desinfekčního činidla. Studentka vypracuje strukturovanou rozvahu, jaké nežádoucí stavy mohou nastat při přechodu na zásobování pitnou vodou bez použití desinfekčního činidla a definuje faktory, které jejich výskyt ovlivňují. Použije se rámcová metodika WaterRisk. Teoretický postup bude aplikován na konkrétní vodovodní síti.

## STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

**VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:**

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



.....  
**Ing. Jan Ručka, Ph.D.**

Vedoucí diplomové práce

## **ABSTRAKTY A KLÍČOVÁ SLOVA**

### Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na provoz vodovodní sítě bez chemického desinfekčního činidla na bázi chloru. V práci je obsažena rešerše zdokumentovaných příkladů systémů zásobování pitnou vodou bez desinfekčního činidla v zahraničí a v České republice. Jsou sepsány přístupy a zkušenosti provozovatelů s tímto provozem. Pozornost je také věnována chloru a jeho účinnosti na bakterie. Práce se zabývá prvotním posouzením vodovodního systému, je-li systém vhodný pro provoz bez desinfekčního činidla. Je zde popsán přechod na zmíněný provoz a jsou stanoveny nežádoucí stavy, které mohou doprovázet ukončení dávkování desinfekčního činidla. V rámci práce byla posouzena konkrétní vodovodní síť obce Kateřinice, je-li vhodná pro provoz bez desinfekčního činidla.

### Klíčová slova

Kateřinice, chlor, desinfekční činidlo, nežádoucí stav, bakterie, vodovodní síť

### Abstract

The diploma thesis focuses on the water distribution system functioning without chlorine-based disinfectant. This thesis contains research of documented cases of examples of drinking water distribution systems both abroad and in the Czech Republic, which do not use disinfectants. Moreover, the thesis pay attention to chlorine and its effects on bacteria. The thesis deals with the first assessment of water supply structure, which determines whether the water supply structure is suitable for operating without disinfectant. The thesis describes the process of transition to the disinfectant-free operation and determines the undesired events, which may occur with the ending of the use of disinfectant. As a part of the research, the thesis examines the water supply system in village Kateřinice, to determine if it is suitable for operation without disinfectant.

### Keywords

Kateřinice, chlorine, disinfectant, undesired event, bacteria, water supply system

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP**

Bc. Markéta Rajnochová *Zásobování pitnou vodou bez použití desinfekčního činidla*. Brno, 2017. 104 s., 3 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Jan Ručka, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 13. 1. 2017

---

Bc. Markéta Rajnochová  
autor práce

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedoucímu práce Ing. Janu Ručkovi PhD. za pomoc, cenné rady, připomínky a poskytnutí odborných materiálů, které mi pomohly při tvorbě této práce.

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD.....</b>	<b>3</b>
1.1	Úvod do práce.....	3
1.2	Vymezení pojmů.....	3
1.2.1	Multibariérová ochrana.....	5
1.2.2	Fyzická integrita .....	6
1.2.3	Hydraulická integrita .....	7
1.3	Současný stav problematiky.....	7
1.4	Cíl práce.....	8
<b>2</b>	<b>ZÁSOBOVÁNÍ PITNOU VODOU BEZ DEZINFEKČNÍHO ČINIDLA .....</b>	<b>9</b>
2.1	Německá strategie pro vyřazení chemických dezinfekcí .....	9
2.2	Nizozemský přístup pro zásobování vodou bez dezinfekčního činidla.....	11
2.3	Tuzemské příklady systému zásobování vodou bez dezinfekčního činidla .....	14
2.3.1	Skupinový vodovod Přelouč.....	15
2.3.2	Veřejný vodovod Soběnov.....	16
2.3.3	Skupinový vodovod Vrbka .....	19
2.3.4	Skupinový vodovod Mladá Boleslav .....	20
2.3.5	Strážíště – Vicemanov, Mohelsko, Horní Bukovina.....	21
2.3.6	Veřejný vodovod Gabčíkovo (Slovenská republika) .....	21
2.3.7	Legislativní požadavky při přechodu na zásobování vodou bez dezinfekčního činidla.....	23
2.3.8	Shrnutí .....	24
2.4	Zahraniční příklady zásobování vodou bez dezinfekčního činidla .....	25
2.4.1	Švýcarsko Curych .....	25
2.4.2	Německo Berlín .....	26
2.4.3	Německo Ludendorf .....	27
2.4.4	Nizozemsko .....	28
2.4.5	Dánsko .....	32
2.4.6	Závěr a shrnutí .....	32
<b>3</b>	<b>VLIV DEZINFEKCE V SYSTÉMU ZÁSOBOVÁNÍ PITNOU VODOU.....</b>	<b>33</b>
3.1	Dezinfekce pitné vody .....	33
3.1.1	Předpoklady pro spolehlivou dezinfekci.....	33
3.1.2	Dezinfekční a oxidační prostředky na bázi chloru .....	34
3.1.3	Vlastnosti chloru .....	35
3.1.4	CT Faktor.....	36
3.2	Vliv chloru na výskyt bakterií v potrubí.....	40
3.2.1	Bakterie ve vodě .....	40
3.2.2	Výběr hlavních patogenů šířených vodou.....	42
3.2.3	Vliv chloru na patogeny.....	45
3.2.4	Schopnost reziduálního chloru inaktivovat patogenní organismy .....	46
3.3	Výhody a nevýhody dezinfekce chlorem .....	49
3.3.1	Co může způsobit přidání chloru do vody .....	52
3.3.2	Možná rizika plynoucí z dezinfekce pitné vody .....	52



<b>4</b>	<b>PŘECHOD NA PROVOZ ZÁSOBOVÁNÍ PITNOU VODOU BEZ DEZINFEKČNÍHO ČINIDLA .....</b>	<b>54</b>
<b>4.1</b>	<b>Prvotní Posouzení systému vhodnosti pro zásobování pitnou vodou bez desinfekčního činidla.....</b>	<b>54</b>
4.1.1	Zdroj vody a ochranné pásmo .....	54
4.1.2	Úpravna vody.....	55
4.1.3	Distribuční síť .....	56
<b>4.2</b>	<b>Reakce systému v bakteriologických procesech .....</b>	<b>56</b>
<b>4.3</b>	<b>Popis metodiky WaterRisk.....</b>	<b>58</b>
4.3.1	Terminologie.....	58
4.3.2	Metodika WaterRisk .....	59
<b>4.4</b>	<b>Nežádoucí stavy vodárenské soustavy při přechodu na provoz bez desinfekčního činidla a ovlivňující faktory .....</b>	<b>64</b>
4.4.1	NS 1 - Zvýšený počet kolonií .....	64
4.4.2	Faktory ovlivňující NS 1-Zvýšený počet kolonií v pitné vodě .....	66
4.4.3	NS 2 - Výskyt koliformních bakterií .....	76
4.4.4	NS 3 - Výskyt E. Coli .....	80
4.4.5	Faktory ovlivňující NS 3-E. Coli v pitné vodě .....	81
<b>5</b>	<b>PŘÍPADOVÁ STUDIE–VODOVOD OBCE KATEŘINICE.....</b>	<b>83</b>
<b>5.1</b>	<b>Obec Kateřinice.....</b>	<b>83</b>
<b>5.2</b>	<b>Systém zásobování pitnou vodou .....</b>	<b>83</b>
5.2.1	Zdroj vody .....	83
5.2.2	Úpravna vody a akumulace.....	85
5.2.3	Vodovodní potrubí.....	87
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>89</b>
<b>7</b>	<b>POUŽITÁ LITERATURA.....</b>	<b>91</b>
<b>7.1</b>	<b>Česká .....</b>	<b>91</b>
<b>7.2</b>	<b>Zahraniční .....</b>	<b>94</b>
<b>7.3</b>	<b>Obrázky .....</b>	<b>96</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>98</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>99</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>103</b>
	<b>SUMMARY.....</b>	<b>104</b>

# 1 ÚVOD

Cílem provozovatelů vodovodních systémů je dodávat vodu příslušné jakosti, která splňuje hygienické požadavky jak mikrobiologické, tak chemické, které stanovuje vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody (ve znění pozdějších předpisů). Použitím chloru či jiného chemického oxidačního činidla v kombinaci s jinými opatřeními se docílí dodávky vody splňující požadovanou mikrobiologickou jakost. Avšak použitím desinfekčního činidla na bázi chloru může docházet k ovlivnění chutě a vůně pitné vody, což je u spotřebitele nežádoucí a častým důvodem stížností. V některých případech může také docházet ke tvorbě vedlejších produktů dezinfekce, které mohou mít vliv na lidské zdraví. Z těchto důvodů je v dnešní době snaha provozovatelů, zejména v zahraničí, optimalizovat provoz a v případech, kde je to možné, distribuovat vodu bez chemické dezinfekce.

## 1.1 ÚVOD DO PRÁCE

Práce je rozdělena do pěti hlavních kapitol. V první kapitole jsou definovány používané pojmy, je vysvětleno, čeho se práce týká a jakého cíle má být dosaženo.

V druhé kapitole jsou podrobně popsány a rozebrány vodovodní systémy v České republice a v zahraničí, které nepoužívají chemické desinfekční činidlo při úpravě ani dopravě pitné vody. Je zde také popsána německá strategie pro přechod na zásobování pitnou vodou bez desinfekčního činidla a nizozemský přístup k zásobování pitnou vodou bez desinfekčního činidla.

Třetí kapitola je věnována dezinfekci vody chlorem a udržování zbytkového chloru ve vodovodní síti. Pozornost je zaměřena zejména na účinnost chloru proti bakteriím vyskytujícím se v pitné vodě. Také jsou zde zmíněny výhody a nevýhody použití desinfekčního činidla na bázi chloru.

Čtvrtá kapitola je věnována přechodu na zásobování pitnou vodou bez desinfekčního činidla. Je zde popsáno posouzení vhodnosti systému pro tento provoz. K tomu se váže *příloha A* strukturovaného diagramu. Jsou zde stanoveny nežádoucí stavy, které mohou nastat při přechodu na zásobování pitnou vodou bez desinfekčního činidla, a jsou zde také definovány faktory, které tyto nežádoucí stavy ovlivňují. Přechod na zásobování pitnou vodou bez desinfekčního činidla a nežádoucí stavy a jejich faktory, které se mohou vyskytnout, jsou zobrazeny pomocí strukturovaného diagramu v *příloze B*.

V páté kapitole je popsán vodovodní systém obce Kateřinice. Je zde posouzena vhodnost zásobování vodou bez desinfekčního činidla, a to pomocí vytvořeného diagramu v předchozí kapitole.

## 1.2 VYMEZENÍ POJMŮ

**Bezchlorový provoz:** Provoz zásobování pitnou vodou bez desinfekčního činidla na bázi chloru a bez zdravotního zabezpečení pitné vody prostřednictvím chloru.

**Celkový aktivní chlor:** Všechny formy chloru, které v kyselém prostředí oxidují jodidy na jod (molekulový chlor- $Cl_2$ , chlornany  $-ClO^-$ , chloraminy  $-NH_xCl_y$ , oxid chloričitý  $-ClO_2$ ) [4]

**Celkový chlor:** Suma volného a vázaného aktivního chloru, včetně chloridů. [4]

**Dezinfekce vody:** Proces usmrcení či inaktivace jak patogenních organismů, tak nepatogenních organismů. Spory bakterií nemusí být během dezinfekce usmrceny. [44] Dezinfekce není sterilizace, sterilizace znamená usmrcení všech organismů i spor.

- Spora bakterie je její klidové stádium, ve kterém může přežívat za nepříznivých podmínek.
- Usmrcením je myšleno nevratné poškození bakterií a parazitů a je vyloučeno jejich rozmnožování. [44]

**Dezinfekční činidlo:** Je chemikálie s dezinfekčními účinky.

**Dodatečná chlorace:** Udržování reziduální koncentrace chloru v síti dodatečným dávkováním chloru, tzv. bezpečnostní chlorování, cílem má být usmrcení nežádoucích bakterií, které by se mohly do sítě dostat během distribuce.

**Fyzikální dezinfekce:** Využití ultrafialového záření, nebo vysoké teploty.

**Fyzická integrita sítě:** Je schopnost systému působit jako fyzická překážka, která zabraňuje průniku vnější kontaminace do systému [56] *Viz kap. 1.2.2 Fyzická integrita*

**Hydraulická integrita sítě:** Je schopnost systému poskytovat spolehlivě dodávku vody, splňující všechny požadavky, jak kvalitativní, tak kvantitativní. [56] *Viz kap. 1.2.3 Hydraulická integrita.*

**Chemická dezinfekce:** Dezinfekce použitím chemických dezinfekčních prostředků. (např. chlor, ozón).

**Inaktivace:** Nevratné poškození virů, a to tak, že ztratí svoji infekčnost. [44]

**Multibariérová ochrana:** Využití více ochranných opatření k zamezení vniknutí kontaminace v průběhu dopravy vody od zdroje až ke spotřebiteli. [57] *Viz kap. 1.2.1 Multi-bariérová ochrana.*

**Oportunní (podmíněný, fakultativní) patogen:** Nemoc vzniká jen za jistých podmínek či při jisté dispozici. Obvykle jde o příslušníky normální flóry, ti vyvolají nemoc jen tehdy, když se dostanou na jiné místo těla, nebo když se sníží obranyschopnost jedince. [37]

**Patogen:** Choroboplodný zárodek, který může způsobit nemoci.

**Primární patogen:** Je schopen vyvolat onemocnění u zdravého jedince. [37]

**Residuální chlor (dezinfekční reziduum, zbytkový aktivní chlor):** Obsah aktivního chloru ve vodě po určité době působení, zajišťující zdravotní zabezpečení vody. [59] Jeho účelem má být:

- Omezení opětovného růstu bakterií.
- Inaktivace bakterií dostávající se do sítě sekundárně, během distribuce.
- Jeho rychlá spotřeba je signálem, že se síti může být něco v nepořádku.

**Systém zásobování vodou (SZV, vodovod, vodovodní systém):** Provozně samostatný soubor staveb a zařízení zahrnující vodovodní řády a vodárenské objekty (stavby pro jímání a odběr vody, stavby pro úpravu a akumulaci vody). [59,2]

**Sekundární kontaminace:** Kontaminace již upravené pitné vody (např. ve vodojemu, nebo distribuční síti).

**Trihalometany (THM):** Jedná se o vedlejší produkty chlorace. Nejčastěji vyskytujícím se je chloroform (trichlormetan  $CHCl_3$ ). [3]

**Vodovodní řad:** Úsek vodovodního potrubí včetně stavební části objektů určený k plnění určité funkce v systému dopravy vody ve vnější rozvodné síti.

**Volný aktivní chlor:** Molekulový chlor- $Cl_2$ , chlornany  $-(ClO)^-$ , oxid chloričitý –  $ClO_2$  [4]

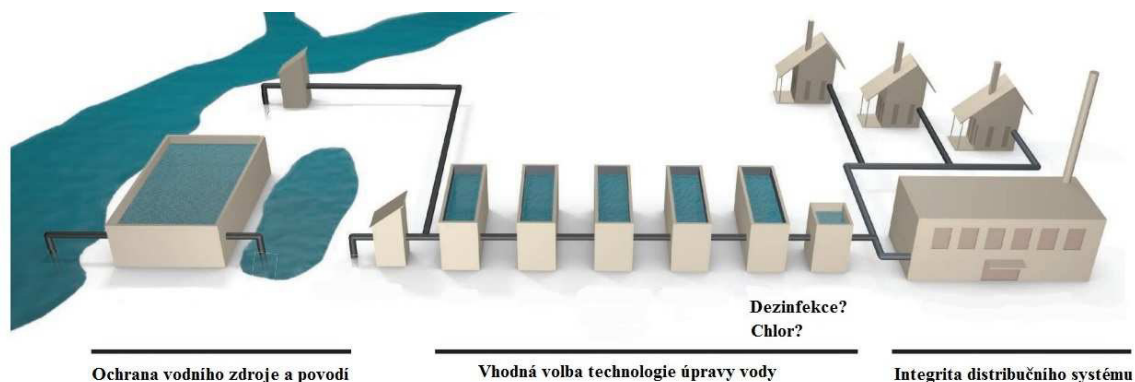
**Vázaný aktivní chlor:** chloraminy a organicky vázaný chlor. [4]

**Zdravotní zabezpečení pitné vody:** Je zabezpečení epidemiologické nezávadnosti vody realizované zpravidla dezinfekcí, [3] nejčastěji chemickým dezinfekčním činidlem nebo UV zářením.

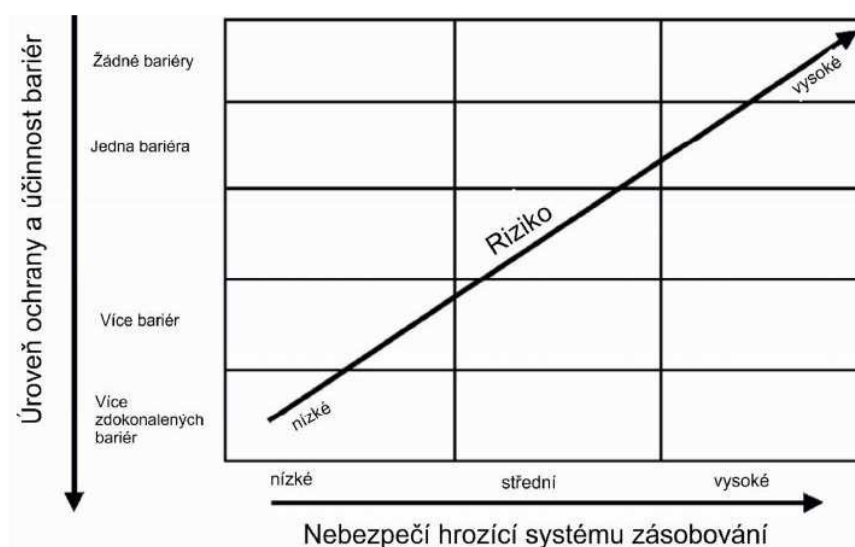
### 1.2.1 Multibariérová ochrana

Principem multibariérové ochrany je vytvoření systému tolika opatření (bariér) v průběhu dopravy vody od zdroje až ke spotřebiteli, kolik je rizikových míst vstupu kontaminantů do vody. [57] Bariéry jsou taková opatření v systému zásobování vodou, která přímo ovlivňují kvalitu vody a společně zajišťují, aby voda splňovala hygienické požadavky. Jsou to kroky, aktivity a procesy používané k zamezení vzniku nebezpečí nebo k minimalizaci existujících nebezpečí. [58] Zejména se jedná o následující opatření:

- Existenci ochranného pásma, resp. funkční ochranu zdroje vody, která maximálně zabráni kontaminaci surové vody [57] aktivní řízení povodí (přesné vymezení, nebo omezení způsobu využití půdy, registrace používaných chemikálií v povodí, regulace lidských aktivit, zabezpečení před sabotáží a vandalismem, aj.). [16]
- Zařazení takové (funkční) technologie úpravy vody, která je schopna odstranit či inaktivovat všechny potenciální kontaminanty surové vody, včetně situací s mimořádným zhoršením kvality surové vody. [57]
- Udržování distribuční sítě ve stavu, který minimalizuje sekundární kontaminaci (udržování přetlaku, ochrana vodojemů, používání hygienicky vhodných materiálů pro distribuci vody apod.). [57]
- Rozvody vnitřního vodovodu z hygienicky vyhovujících materiálů, instalace provedené zkušeným instalátérem, přítomnost armatur zabráňujících zpětnému toku (tam, kde je to potřeba). [57]
- Proškolený personál dodržující provozní řád; existence a znalost havarijních řádů. [57]
- Sledování (nejlépe kontinuální) funkčnosti jednotlivých bariér pomocí vhodných monitorovacích systémů. [57]



**Obr. 1.1** Schéma multibariérového přístupu [16]



**Obr. 1.2** Řízení rizik v systému zásobování pitnou vodou na základě multibariérové ochrany [57]

Z grafu lze vidět, že při funkčním multibariérovém přístupu a při vynechání jedné z bariér (například dezinfekce) nedojde k velkému zvýšení rizika kontaminace. Dezinfekce by měla být využívána zvláště při úpravě vody povrchové. Chemická dezinfekce sníží celkové riziko při kontaminaci (zejména fekální), ale neučiní systém bezpečným.

Distribucí pitné vody bez reziduálního desinfekčního činidla má systém zásobování pitnou vodou o jednu bariéru méně (hlavně z hlediska opětovného růstu a kontaminace koliformními bakteriemi). Proto je důležité, aby byly zajištěny ostatní bariéry na správném a efektivním místě. V situacích, kdy je vysoce kvalitní surová voda a využít multibariérový přístup k produkci vysoce kvalitní pitné vody, tato voda by měla mít udrženu příslušnou kvalitu i během distribuce. Kombinace fyzické a hydraulické integrity distribuční sítě poskytuje dvojitou bariéru proti znečištění pitné vody během distribuce. Obě bariéry by musely být prolomeny ve stejném místě a stejném čase a muselo by být přítomno znečištění. [1]

### 1.2.2 Fyzická integrita

Fyzická integrita distribučního systému je jeho schopnost působit jako fyzická překážka, která zabraňuje průniku vnější kontaminaci do systému. Jedná se o schopnost systému odolávat vnějšímu a vnitřnímu namáhání. Fyzická integrita závisí na stárnutí distribuční soustavy a jejím obnovování, zahrnuje stav potrubí, hydrantů, ventilů, pomocných čerpadel, desinfekčních stanic, rezervoárů, přípojek aj. Udržování fyzické integrity sítě je hlavní bariérou proti vniknutí externí kontaminace. Hlavními faktory působícími na porušení fyzické integrity systému jsou charakter půdy, podzemní voda, lidská činnost (např. špatná instalace, vandalismus, nehygienický přístup), činnost zvířat a hmyzu. Když je ohrožena fyzická integrita, systém je vystaven možným zdrojům znečištění. Pro zachování nebo obnovení fyzické integrity jsou následující doporučení: [56]

- Akumulační prostory by měly být pravidelně kontrolovány, měl by být zhotoven plán kontrol a inspekci. V závislosti na složení vody je zapotřebí akumulací prostory jednou za 3 až 5 let vypustit, odstranit sedimenty, kovové prvky ochránit proti korozi,

- aj. Měly by být prováděny aspoň jednou týdně kontroly za účelem odhalení vandalizmu. [56]
- Lepší hygienická praxe při opravách či obnovách systému. Všichni pracovníci (i obchodníci), kteří přicházejí do styku s pitnou vodou, by měli být vyškolení a certifikováni dle požadavků (nároků, náročnosti) jejich práce. [56]
- Prioritou by mělo být posouzení stavu sítě i přesto, že posouzení zakopaných sítí, je obtížné a nákladné. K posouzení by mohla sloužit detekce úniku. [56]

### 1.2.3 Hydraulická integrita

Hydraulická integrita distribučního systému je jeho schopnost poskytovat spolehlivě dodávku vody, splňující všechny požadavky, jak kvalitativní, tak kvantitativní. Nejdůležitější složkou je udržování přiměřeného tlaku. Nízký tlak způsobený například selháním čerpadla může vést k nedostatečnému přívodu vody a v krajním případě k podtlaku a vzniku potencionálního znečištění. Vysoké tlaky zvyšují opotřebení armatur a můžou zvýšit úniky vody. Dalším prvkem je spolehlivost dodávek, například více zdrojů, nebo záložní zdroj, okružová síť aj., hydraulická integrita zahrnuje také ovlivnění jakosti vody dobou zdržení a s tím související nízkou rychlostí v síti. Poslední složkou je dostatečné míchaní (obměna vody) v akumulaci nádrží, aby se eliminovaly mrtvé kouty, kde může docházet k opětovnému bakteriálnímu růstu a dalším biologickým změnám ve vodě. Faktory, které mohou ovlivnit hydraulickou integritu, jsou: poruchy a netěsnosti na potrubí, prudké změny tlaků a průtoků, plánovaná údržba a mimořádné události, tvorba korozních produktů, nevhodná provozní kontrola. Obnovení hydraulické integrity může být dosaženo proplachováním, chemickým nebo mechanickým čištěním potrubí. [56]

## 1.3 SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY

V současné době je cílem provozovatelů dodávat spotřebiteli vodu příslušné jakosti, splňující limity stanovené vyhláškou č. 252/2004 Sb. Použitím dezinfekce, ať už na bázi chloru, ozonu či UV záření a udržováním dostatečné zbytkové koncentrace chloru v distribuční síti a v kombinaci s jinými opatřeními, by měli provozovatelé docílit dodávky vody splňující požadovanou mikrobiologickou jakost. Avšak výzkumy a zkušenosti z praxe přinášejí mnoho nových poznatků o fungování chemické dezinfekce na bázi chloru. Uvádějí jejich negativní stránky, především nežádoucí ovlivnění chuti a pachu a vznik tzv. vedlejších produktů dezinfekce. [42,16]

Objev vedlejších produktů dezinfekce a negativní postoj veřejnosti ohledně chuti chloru ve vodě podnítilo několik zemí, zejména Nizozemsko, Švýcarsko a Německo, k posunu zásobování pitnou vodou bez desinfekčního činidla na bázi chloru, které zůstává ve vodě jako reziduální desinfekční prostředek, který se dostává až ke kohoutkům spotřebitelů. V těchto zemích se vodárny spoléhají na dostatečný počet bariér proti znečištění. Pokud je dostatečný počet bariér, vodu lze distribuovat bez desinfekčního činidla. Koncepce více bariér (multibariérový přístup) zajišťuje bezpečnost v případě selhání jedné z těchto bariér. Bariéry zahrnují ochranu vodního zdroje, více kroků v úpravě vody a proaktivní řízení distribuční soustavy. Na otázku, zda je chlor potřebný k ochraně lidského zdraví, lze odpovědět, že existuje velmi málo údajů o tom, že by zbytkové desinfekční činidlo v distribuční síti zabránilo vypuknutí nákazy. [42,16]

Z hlediska legislativy je v některých evropských státech, jako jsou Nizozemsko, Švýcarsko, Německo, Slovinsko i Česká republika, možnost distribuovat vodu bez dezinfekčního činidla. Voda musí pouze splňovat předepsané mikrobiologické limity. Na druhou stranu existují státy, jako jsou například Velká Británie a Spojené státy, ve kterých je vyžadována přítomnost minimální koncentrace dezinfekčního činidla v síti. [42,16]

## **1.4 CÍL PRÁCE**

Cílem práce bylo sepsání rešerše zdokumentovaných příkladů systémů zásobování pitnou vodou bez dezinfekčního činidla v ČR i ve světě. Zpracování informací a poznatků při přechodu na zásobování pitnou vodou bez dezinfekčního činidla konkrétně bez použití chloru. Na základě odborné literatury byla vypracovaná strukturovaná rozvaha (strukturovaný diagram) nežádoucích stavů, které mohou nastat při přechodu zásobování pitnou vodou bez použití dezinfekčního činidla, a byly definovány faktory, které tyto nežádoucí stavy ovlivňují. Pro stanovení nežádoucích stavů a faktorů byla použita rámcová metodika WaterRisk. Pro konkrétní vodovodní síť v obci Kateřinice bylo provedeno prvotní posouzení vhodnosti pro zásobování vodou bez dezinfekčního činidla.

## 2 ZÁSOBOVÁNÍ PITNOU VODOU BEZ DEZINFEKČNÍHO ČINIDLA

Česká a některá zahraniční legislativa nevyžaduje přítomnost chloru či jiného dezinfekčního činidla v dodávané pitné vodě. Legislativa v ČR, která se týká hygieny vody, je obsažena v zákoně o ochraně veřejného zdraví č. 258/2000 Sb. (v platném znění). K tomuto zákonu se vztahuje vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou vodu a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly. V kapitole zásobování pitnou vodou bez dezinfekčního činidla jsou popsány dva přístupy, a to německá strategie pro vyřazení chemických dezinfekčních činidel, kde je popsána strategie přechodu na zásobování vodou bez dezinfekčního činidla. Strategie zahrnuje vyhodnocování dat rozborů vzorků z posledních 2 až 3 let, předběžný monitoring na síti a dozorový program. Dále je v kapitole popsán nizozemský přístup, ve kterém jsou charakterizovány vlastnosti systému a opatření, které umožňují distribuci vody bez dezinfekčního činidla. Na závěr kapitoly jsou uvedeny a rozebrány konkrétní vodovodní systémy v ČR a v zahraničí, které nepoužívají chemickou dezinfekci.

### 2.1 NĚMECKÁ STRATEGIE PRO VYŘAZENÍ CHEMICKÝCH DEZINFEKČÍ

Provoz vodovodní sítě bez chemické dezinfekce může být následující:

- a) **Naprostá absence dezinfekce:** je možná v případě dobře chráněného podzemního zdroje. Předpokladem je, že voda vstupující do distribučního systému je mikrobiologicky bezpečná a v síti nebude docházet k opětovnému růstu bakterií za určitých podmínek. [39]
- b) **Vyřazení dodatečné chlorace:** může být provedeno, pokud voda po dezinfekci splňuje mikrobiologické požadavky pro pitnou vodu a ke stabilním podmínkám v síti není zapotřebí udržování zbytkového dezinfekčního činidla. [39]
- c) **Nahrazení chemické dezinfekce za UV dezinfekci:** v případě, pokud je k dispozici voda nesplňující mikrobiologické požadavky pro pitnou vodu a provozovatel se chce vyhnout aplikaci chemického dezinfekčního činidla, lze využít pro dezinfekci vody UV záření. [39]

Aby se zabránilo negativním změnám v jakosti vody a jejich následkům, provádí se vyřazení chemické dezinfekce v následujících krocích. [39]

1. **Vyhodnocení dat**
2. **Předběžný průzkumný program**
3. **Dozorový program**

Jednotlivé kroky budou popsány níže.

#### 1. Vyhodnocení dat

Vyhodnocení dat slouží k prověření, zda je možné dezinfekci na daném systému vynechat. Posuzuje se geologická a hydrogeologická situace v okolí zdroje vody a vyhodnocují se běžné provozní parametry kvality vody z posledních 2 až 3 let. [39] Výsledky tohoto šetření se



prezentují příslušným zdravotním úřadům, v ČR krajské hygienické stanici. [20] Vyhodnocovány jsou následující parametry. Geologické a hydrogeologické podmínky v místě aplikace, *E. coli* a koliformní bakterie, počty kolonií, volný a celkový chlor, celkový organický uhlík (TOC), nebo rozpuštěný organický uhlík (DOC), vodivost, amonné ionty, fosforečnany, metan, zákal. Pro vyřazení dodatečné chlorace, nebo záměny chemické dezinfekce za UV platí stejné vyhodnocení dat jako při úplné odstávce dezinfekce s výjimkou od posouzení geologických a hydrogeologických parametrů v okolí zdroje, to může být vynecháno. [39]

## **2. Předběžný průzkumný program**

Před jakoukoliv změnou režimu dezinfekce je zapotřebí provést předběžný průzkumný program po dobu nejméně 2 měsíců. [20] Pokud z vyhodnocení dat lze uvažovat o možnosti zásobování vody bez desinfekčního činidla nebo o možnosti změny chemické dezinfekce za UV dezinfekci, musí být proveden předběžný monitoring, jehož cílem je zkoumání současné situace. V prvním kroku jsou vhodně zvoleny měřicí místa. Odběr vzorků musí být proveden ze zdroje vody a vody upravené (před a po dezinfekci). Výběr míst by měl být takový, aby v různých místech bylo různé zdržení vody, stáří vody, aby mohly být zaznamenány změny v čase a bylo možné sledovat jednotlivé bakteriální parametry. V průzkumném programu jsou vyhodnocovány následující parametry: Základní parametry fyzikálně-chemické, amonné ionty, fosforečnany, metan, volný a celkový chlor, *E. coli* a koliformní bakterie, počty kolonií, živiny, potenciál tvorby biofilmu. [39]

## **3. Dozorový program**

Pokud vyhodnocení dat a předběžný průzkumný program nevykazují žádné mikrobiální abnormality, může se přistoupit ke změně desinfekčního režimu a nastane dozorový program. Během dozorového programu dochází ke snižování množství desinfekčního prostředku, které se provádí v krocích o 0,1 až 0,15 mg·l<sup>-1</sup>. [20] Postupným snižováním má být docíleno postupného přetváření biofilmu s minimálním narušením kvality vody. Dle zkušeností by nemělo docházet k žádným významným změnám v jakosti vody, lze pouze očekávat přetváření biofilmu. Pokud by výsledky z předběžného průzkumného programu ukázaly, že dezinfekci nelze vyřadit, je potřeba určit, zda může být nahrazena chemická dezinfekce za UV dezinfekci. Při této změně před snížením koncentrace chloru musí být UV systém již v provozu. [39] Dozorový program při snižování trvá nejméně 2 měsíce. [20] Pokud se v této době překročí limity v počtu kolonií, neměla by se znova zvyšovat koncentrace chloru, ale měla by se prodloužit doba na čekání stabilizace biofilmu. [39] Po úplném ukončení dezinfekce se dále provádí dozorový program po dobu nejméně 2 měsíců. Pokud se na síti nevyskytnou žádné mikrobiologické abnormality, lze předpokládat, že je možný trvalý provoz bez dezinfekce vody. [20] Rozsah parametrů pro dozorový program je identický s předběžným průzkumným programem. [39]

## **4. Shrnutí**

Německou strategii pro ukončení chemické dezinfekce v systému lze shrnout následovně:

- a) Provedení analýzy dat z posledních 2-3 let. Kontrolována musí být konkrétní mikrobiologická situace ve zdroji, upravené vodě a v místech na síti. [39]

- b) Pokud se v analýze dat nevyskytují žádné mikrobiologické abnormality, může být přistoupeno k dalšímu kroku, a to k předběžnému monitoringu. Kromě stanovení běžných mikrobiologických parametrů by měly být vyšetřeny živiny a biofilm. [39]
- c) Na základě předběžného vyšetřování a v návaznosti strategie pro vyřazení dezinfekce by měla být vytvořena modelová koncepce bakteriologických procesů v síti. Vzhledem k tomu, že desinfekční činidlo má významný vliv na stav biofilmu, může zpočátku při vynechání dezinfekce dojít k přestavbě biofilmu a k narušení kvality vody. Aby bylo narušení kvality co nejmenší, je koncentrace desinfekčního prostředku postupně snižována v krocích o 0,1 do 0,15 mg·l<sup>-1</sup>. [39]
- d) Kvůli sledování kvality vody se snižování desinfekčního činidla v dozorovém programu provádí postupně. Doba trvání by měla být zhruba 3 měsíce. Po úplném vynechání dávkování chloru se monitorovací období prodlužuje zhruba na 6 měsíců. Pokud v důsledku snižování dojde k přestavbě biofilmu a ke zvýšeným počtům kolonií, množství dávkování desinfekčního činidla se nezvyšuje, ale je prodloužena potřebná doba ke stabilizaci biofilmu. [39]
- e) Pokud se během dozorového programu nevyskytují žádné biologické abnormality a je-li v síti stabilní situace, může se pokračovat ve snižování desinfekčního činidla postupně až k úplnému vynechání. [39]
- f) Pokud příčinu výskytu mikrobiologické abnormality nelze napravit, nebo nelze stabilizovat bakteriologickou kvalitu vody, měla by se zvážit možnost náhrady chemické dezinfekce za UV dezinfekci. [39]

Pokud je uvažováno pouze o vynechání dodatečné chlorace, provedení je shodné s bodem a) až e) s tím rozdílem, že není potřeba kontrolovat kvalitu vodu ve zdroji, ale vodu před dávkováním dodatečné chlorace. [39]

Pokud je k dispozici pouze surová voda nesplňující mikrobiologické požadavky pro pitnou vodu, může být chemická dezinfekce nahrazena UV dezinfekcí. Také by se pokračovalo dle a) až e). Snižování desinfekčního prostředku se provádí pouze po uvedení UV dezinfekce do provozu. [39]

Na závěr je třeba poznamenat, že veškeré změny v dezinfekčním režimu a postupy by se měly předem konzultovat s příslušným orgánem v ČR, a to s krajskou hygienickou stanicí.

## **2.2 NIZOZEMSKÝ PŘÍSTUP PRO ZÁSOBOVÁNÍ VODOU BEZ DEZINFEKČNÍHO ČINIDLA**

Nizozemsko je zemí, kde chlor nepoužívají vůbec, ani pro dezinfekci, ani k udržení zbytkového desinfekčního činidla v distribuční síti. Jejich přístup, který umožňuje výrobu a distribuci pitné vody bez použití chloru, aniž by byla ohrožena mikrobiální bezpečnost vody, lze shrnout následovně [29]:

1. Použití nejlepšího možného zdroje dle pořadí preference:
  - a) Mikrobiologicky bezpečné podzemní vody. [29]
  - b) Povrchové vody s půdní filtrací, s umělou filtrací, nebo březní filtrací. [29]
  - c) Přímá úprava povrchové vody s multibariérovým přístupem. [29]

2. Upřednostňování fyzikálních procesů k úpravě vody, jako je sedimentace, filtrace a UV dezinfekce. Jestliže je nezbytně nutná oxidace, je důležité vyhnout se chloru. Lze použít ozon, nebo peroxid. [29]
3. Předcházet vniknutí kontaminace do sítě během distribuce. [29]
4. Předcházet mikrobiologickému růstu v distribučním systému. A to produkcí biologicky stabilní vody a užitím biologicky stabilních materiálů. [29]
5. Monitorování pro včasnou detekci poruchy, aby se včas detekovala porucha a bylo zabráněno významným zdravotním následkům. [29]

Nový vývoj v pitné vodě v Nizozemsku zahrnoval: [29]

1. Úpravu nizozemské vyhlášky pro pitnou vodu.
2. Provádění kvantitativního hodnocení mikrobiálního rizika (QMRA) ze strany vodárenských společností.
3. Výzkum kvality zdroje pitné vody a účinnost úpravy vody.
4. Bezpečnost distribuce.
5. Biologickou stabilitu pitné vody během distribuce.

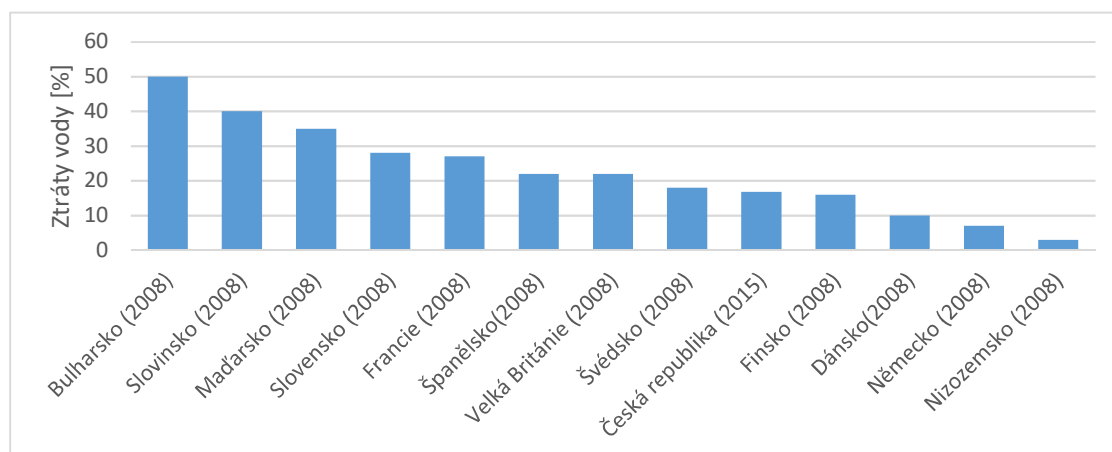
Dále budou popsány informace o tom, jak nizozemské vodárenské společnosti zaručují bezpečné zásobování pitnou vodou bez použití chloru. [29]

**Dobrá technická praxe:** Důležitá je ochrana vodní jakosti, ať už s nebo bez desinfekčního činidla, jak při výstavbě, provozu, tak i údržbě distribuční sítě. Jestliže je síť v dobrém stavu a dobře (aktivně) udržována, vytváří se vhodné podmínky pro distribuci vody bez desinfekčního činidla. Základními prvky jsou: [1]

1. **Fyzická integrita:** Fyzická integrita zabraňuje vniknutí nečistot v místech nebo v čase s nízkým, nebo žádným hydraulickým tlakem. Fyzická integrita je důležitá zejména v místech jako jsou vodojemy, kde není žádný tlak. Nizozemsko má velmi nízkou poruchovost (méně jak 3 %) ve srovnání s ostatními evropskými zeměmi. Bylo identifikováno několik faktorů, které přispívají k tak malé poruchovosti. [1]
  - a) Tlak v síti může být relativně nízký z důvodu rovinatého terénu, vysoké budovy jsou vybaveny vlastní čerpací stanicí. [1]
  - b) Většina sítě je relativně mladá a vyrobena z PVC. Jako všechny ostatní státy i Nizozemsko čelí stárnutí sítě, proto je potřeba aktivně hodnotit a řídit stav sítě a integritu, aby se zabránilo únikům a poruchám. [1]
2. **Hydraulická integrita:** K zabránění vniknutí nečistot do sítě je důležité kontinuální udržování dostatečně vysokého tlaku. Kolísání tlaku a přetlaku je minimalizováno čerpadly, zařízeními redukující tlak, postupným uzavíráním ventilů a automatickým řízením distribuce, aby se zabránilo velkému kolísání průtoků a tlaků v kopcovitých oblastech. [1]
3. **Ochrana před zpětným nasátím:** Použití přerušovacích nádrží před většími odběrateli (průmysl, nemocnice) a využívání zpětných klapek na vodovodních přípojkách. [1]
4. **Přísná hygiena během výstavby a údržby sítě:** Nizozemsko se řídí národním hygienickým předpisem. Předpis stanovuje zásady správné hygieny v průběhu výstavby a údržby. Popisuje kontrolní opatření pro bezpečné skladování materiálů,

čištění, dezinfekce materiálu i potrubí po skončení výstavby, nebo opravy i osobní hygienu. Také je v předpisu popsáno školení, dohled a sledování jakosti vody. [1]

5. **Certifikace materiálů:** Systém schvalování, certifikace materiálů, ventilů, hydrantů, které mají být použity v distribučním systému. [1]
6. **Ochrana zdroje:** Podzemní voda je získávána v omezených oblastech, kde je tomu přizpůsobeno využití půdy. Půda v bezprostředním sousedství s jímací studnou je vlastněna vodárenskými společnostmi. Ochraná pásma podzemní vody zabrání kontaminaci z okolí studny. Tato vysoce kvalitní voda nevyžaduje žádnou dezinfekci a je upravována pouze v obsahu kyslíku, železa, manganu pomocí areace a filtrace. Rizika kontaminace prostřednictvím špatně postavené studny, nebo nedostatečné hygieny při výstavbě a údržbě jsou zmírněna školením personálu pomocí přísných hygienických protokolů. [1]
7. **Ochrana proti kontaminaci během distribuce:** V Nizozemsku je kladen důraz na udržování vysoké kvality distribučního systému s dostatečným tlakem, aby se zabránilo vniknutí kontaminace během normálního provozu. Navíc, přísné hygienické protokoly jsou sestaveny pro výstavbu, údržbu a opravy distribučního systému. Bylo zjištěno, že únik je nižší, pokud je potrubí umístěno v písčité, nebo jílovité půdě, když tlak vody je nízký a podíl PVC potrubí je vysoký. Na Obr 2.1 jsou zobrazeny ztráty vody v několika evropských zemích. [1]



**Obr. 2.1** Ztráty vody ve vybraných evropských zemích 2008 [29,62]

**Ochrana mikrobiálního růstu v distribučním systému:** Následující přístupy jsou používány ke kontrole, nebo omezení mikrobiální aktivity v distribučním systému s absencí desinfekčního činidla: [29]

1. Produkce biologicky stabilní vody.
2. Distribuční systém s nereagujícími a biologicky stabilním materiálem.
3. Optimalizace distribučního systému k prevenci stagnace a akumulace sedimentů.

Aerobní podzemní voda obsahuje málo organických sloučenin a bývá biologicky stabilní. Anaerobní podzemní vody nebývají biologicky stabilní z důvodu přítomnosti organických sloučenin, metanu a amoniaku. [29]

Na závěr lze říct, že přítomnost desinfekčního prostředku v distribučním systému nezaručuje nižší výskyt ohnisek nákazy. Neboť Nizozemsko, které zásobuje vodou bez desinfekčního činidla, má velmi nízké riziko onemocnění z vody. Ve srovnání Nizozemska s Velkou Británií (VB) a USA, kde je pitná voda distribuována s desinfekčním činidlem, bylo riziko

onemocnění z vody na 1000 obyvatel 0,59 pro Nizozemsko a 2,03 a 2,79 pro VB a USA. Další pohnutkou k diskusi o desinfekčních zbytcích je robustnost infrastruktury proti kontaminační události. Od roku 1970 byla v Nizozemsku zrekonstruována nejméně polovina vodovodů. Stáří potrubí je v průměru 33 až 37 let. Průměrný věk potrubí při přetržení je 47 let. Únik je také jedním měřítkem zranitelnosti distribuční soustavy. [16]

Fungování a zkušenosti provozu bez desinfekčního činidla v Německu a Nizozemsku budou dále popsány v kapitole 2.5 *Zahraniční příklady zásobování vodou bez desinfekčního činidla*.

## 2.3 TUZEMSKÉ PŘÍKLADY SYSTÉMU ZÁSOBOVÁNÍ VODOU BEZ DEZINFEKČNÍHO ČINIDLA

**Tabulka 2.1** Seznam vodovodu v ČR dodávající vodu bez desinfekčního činidla [14,63, 18,21,22,64,9,19,20]

Název vodovodu	Kraj	Provozovatel	Počet zás. obyvatel	Technologie úpravy vody	Rok začátku zás. bez desinfekčního činidla	Přibližné stáří potrubí [let]	Materiál	Původní dezinfekce nebo zdravotní zabezpečení
Skupinový vodovod <b>Přelouč</b>	Pardubický	VaK Pardubice, a.s.	19 000	Pískové filtry, KMnO	1999	65	litina, PVC, PE	Cl <sub>2</sub> , NaClO
Veřejný vodovod <b>Soběnov</b>	Jihočeský	ČEVAK, a.s.	300	Filtr s vápencovou drtí, kaskáda	2006	N/A	N/A	Na ClO
Veřejný vodovod <b>Dolní Bečva</b>	Zlínský	VaK Vsetín, a.s.	1 700	Filtr GAU,	2007	N/A	N/A	N/A
Veřejný vodovod <b>Vrbka</b>	Vysočina	VaK Havlíčkův Brod, a.s.	77	bez UV	2007	4-5	PE	NaClO
Skupinový vodovod <b>Mladá Boleslav</b>	Středočeský	VaK Mladá Boleslav, a.s.	60 000	Aerace, písková filtrace,	2014	N/A	N/A	Cl <sub>2</sub>
Veřejný vodovod <b>Horní Bukovina</b>	Středočeský	VaK Mladá Boleslav, a.s.	212	N/A	2013	N/A	N/A	N/A
Skupinový vodovod <b>Strážáň-Vicemanov</b>	Středočeský	VaK Mladá Boleslav, a.s.	89 (cca 60)	N/A	2013	N/A	PE	N/A
Skupinový vodovod <b>Mohelsko</b>	Středočeský	VaK Mladá Boleslav, a.s.	949	bez UV	2013	N/A	N/A	NaClO
Veřejný vodovod <b>Lhotka</b>	Středočeský	Středočeské vodárny, a.s.	258	N/A	2014	N/A	N/A	N/A

## 2.3.1 Skupinový vodovod Přelouč

### *Charakteristika systému*

Skupinový vodovod Přelouč zásobuje 19 000 obyvatel, provozovatelem je VaK Pardubice, a.s.. Zdrojem vody jsou podzemní vrty. Ze surové vody jsou na úpravně odstraňovány pouze železité ionty prostřednictvím pískových filtrů. Maximální výkon úpravně je  $66 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ . Na rozvodné síti je umístěno celkem 6 vodojemů. Celková délka sítě je cca 190 km. [14, 63] Na síti jsou použity následující materiály: litina cca 89 %, HDPE 100 cca 7 % a PVC cca 4 %. Průměrný výskyt poruch je okolo 160 poruch za rok, což je  $0,84 \text{ poruch} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ . Stáří potrubí je různé, nejstarší potrubí mohou mít okolo 65 let, potrubí se průběžně dle finančních možností společnosti obnovuje. [10] Původní zdravotní zabezpečení pitné vody bylo plynným chlorem. Dávkování chloru bylo umístěno na úpravně vody a v koncových místech rozvodných řadů, kde byla voda dodatečně dochlorována chlornanem sodným. [14]

### *Způsob zásobování bez desinfekčního činidla*

Na úpravně vody byl od května roku 1999 zahájen zkušební provoz UV zařízení jako zdravotní zabezpečení pitné vody. Od června roku 2000 byl uveden UV zářič do trvalého provozu, v té době byl vydán okresním hygienikem závazný posudek, na jehož základě byl zpracován dodatek k provoznímu řádu skupinového vodovodu Přelouč. Podmínky k provozu zabezpečení vody pouze UV zařízením jsou následující: [14]

1. Do vodovodní sítě bude preventivně jednou za 6 týdnů dávkován chlor tak, aby jeho přítomnost byla zaznamenána i v nejvzdálenějších místech skupinového vodovodu. [14]
2. Preventivní odkalování vodovodní sítě bude prováděno v souladu se schváleným odkalovacím plánem, mimořádné odkalování bude prováděno v případě nevyhovujících rozborů a po odstranění poruch na vodovodních řadech a přípojkách. [14]
3. Po opravách vodovodní sítě bude provedeno nejen odkalení, ale i preventivní jednorázové chlorování vody. [14]
4. Jedenkrát měsíčně budou prováděny bakteriologické rozboru vody ve vodojemech. V případě zjištění závazného bakteriologického rozboru bude příslušná lokalita dezinfikována chlorem do doby nezávadného rozboru. [14]
5. Při odběrech vzorků bude kontrolován stavební stav vodojemů, a to zejména stav odvětrání vodojemů (s důrazem na neporušenost ochranných sítěk apod.) a vodotěsnost stropů vodojemů, aby nemohlo docházet ke kontaminaci prosakující srážkovou vodou, případné zjištěné závady budou neprodleně odstraněny. [14]
6. Při pravidelném čištění vodojemů budou dezinfikovány stěny a dna dezinfekčními prostředky (vzhledem k uzavřeným prostorům a nebezpečnosti plynného chloru jsou používány prostředky na bázi peroxidu vodíku. [14]
7. Při čištění vodojemů bude při vstupu do komor používána obuv z vnějšku dezinfikovaná chlornanem sodným. [14]

Za běžného provozu je síť pravidelně 2x ročně (na jaře a podzim) kompletně odkalována. Lokální odkalování probíhá po každé opravě a havárii vodovodního řadu. [10]

Nutnost dodatečného chlorování bylo posuzována dle výsledků odebraných vzorků. Snahou bylo chlorování co nejvíce omezit. Pouze při větších poruchách a při pravidelném odkalování (jarní měsíce) se spouštěla chlorace automaticky. Nezávadný bakteriologický rozbor byl směrodatným podkladem pro ukončení chlorace. [14]

### ***Zkušenosti a poznatky***

Při zkušebním provozu (r. 1999-2000) bylo odebráno až 10x více vzorků než při normálním provozu (r. 1988). I přesto voda vykazovala, při použití UV, stejné nebo menší procentuální znečištění než při zdravotním zabezpečení chlorem. Procentuální množství nevyhovujících bakteriologických rozborů se pohybovalo v rozmezí 1,7 - 1,8 %. Lze usoudit, že pitná voda dosahuje minimálně stejného stupně bakteriologického zabezpečení jako při použití chloru. Pořizovací a provozní náklady na UV zářiče činí cca 0,12 Kč·m<sup>-3</sup>, což je z pohledu zvýšené kvality pitné vody přijatelné. [14]

Zajímavým zjištěním na tomto skupinovém vodovodu byl problém s dusitany. Před zprovozněním UV zařízení se na síti vyskytoval problém se zvýšenou koncentrací dusitanů. Při úplné absenci chloru v potrubí se snižovala i koncentrace dusitanů ve vodě. Pravidelnými cykly chlorování docházelo k opětovnému zvyšování dusitanů a po dalším odstavení chloru docházelo k jejich snižování. Možným vysvětlením je, že snižování množství dusitanů může být způsobováno činností nitrifikačních bakterií, které jsou zřejmě schopny v prostředí bez chloru lépe převést dusitany na dusičnany. Rychlost této přeměny je závislá na dalších vlivech jako např. teplota vody, materiál potrubí. [14]

Nitrifikace je způsobená především chemolitotrofními organismy. Chemolitotrofní organismy využívají CO<sub>2</sub> jako zdroj dusíku. Rozlišují se dva rody nitrifikačních bakterií, *Nitrosomonas* a *Nitrobacter*. V přírodě jsou velmi rozšířeny, mají tendenci ulpívat na různých povrchích. Rod *Nitrosomonas* se podílí na prvním stupni oxidace (nitritace) na dusitany. *Nitrobacter* se podílí na oxidaci dusitanů na dusičnany. Významný vliv na nitrifikaci má hodnota pH a koncentrace rozpuštěného kyslíku. Dusitany ve vyšších koncentracích v pitné vodě způsobují methemoglobinaemii. Vyhláška č. 252/2004 Sb. stanovuje nejvyšší mezní hodnotu dusitanů v pitné vodě 0,50 mg·l<sup>-1</sup>, pro dusičnany je vyhláškou stanovena nejvyšší mezní hodnota 50 mg·l<sup>-1</sup>. Dusičnany jsou škodlivé nepřímě. V gastrointestinálním traktu může docházet k redukci bakteriální činnosti na toxičtější dusitany. [4]

## **2.3.2 Veřejný vodovod Soběnov**

### ***Charakteristika systému***

Veřejný vodovod Soběnov zásobuje cca 300 obyvatel, provozovatelem jsou Vodovody a kanalizace ČEVAK, a.s.. Zdrojem surové vody je podzemní voda. Systém zásobování vodou (SZV) nemá úpravnu vody, voda je pouze ve vodojemech odkyselována na filtru s vápencovou drtí a odradonována jednoduchou kaskádou. Dlouhodobý průměrný odběr pitné vody je 47,2 m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup>. Laboratorními rozborů je prokazováno běžné mikrobiologické znečištění odpovídající přirozeně chráněnému území, bez negativního vlivu lidské činnosti. Nálezy počtu koliformních bakterií a kolonií při 36 °C a 22 °C se pohybují v rozmezí jednotek až desítek. Ostatní ukazatele zůstávají, až na ojedinělé výjimky (intestinální enterokoky), nulové. [18]

## ***Způsob zásobování bez desinfekčního činidla***

Roku 2005 bylo zdravotní zabezpečení vody chlornanem sodným nahrazeno UV zářičem. Od začátku roku 2003 do října r. 2005 nebyly v rozbořech pitné vody zaznamenány kvalitativní závady s výjimkou nižšího pH a dvou mírných překročení limitů pro počty kolonií při 36 °C. Tato překročení lze s vysokou dávkou pravděpodobnosti považovat za následek stagnace vody v málo používané přípoje v době před odběrem vzorku. Tyto závady nebyly opakovanými rozboři potvrzeny. Z důvodů kvalitního zdroje pitné vody bylo dávkování chloru odstaveno a nahrazeno UV zářičem. Dávkovací zařízení zůstalo zachováno pro provádění nárazového chlorování sítě. Potřeba frekvence chlorování sítě byla ověřena v průběhu zkušebního provozu. [17]

Pro zkušební provoz instalace UV zářiče byly projednány a stanoveny tyto podmínky: [17]

1. Pro provoz dezinfekce pitné vody UV zářením se stanovil zkušební provoz v délce trvání minimálně 3 měsíce od zahájení provozu.
2. V průběhu zkušebního provozu byly provedeny 3 rozboři pitné vody, a to v následujících bakteriologických ukazatelích *Escherichia coli*, koliformní bakterie, enterokoky, počty kolonií při 22 °C a 36 °C. Tyto ukazatele doložily, že byly plněny požadavky na mikrobiologickou nezávadnost pitné vody pro veřejné zásobování.
3. Vyhodnocení zkušebního provozu bylo projednáno s Krajskou hygienickou stanicí (KHS) Jihočeského kraje.

Zdravotní zabezpečení pitné vody jen UV zářením bylo uvedeno do zkušebního provozu v říjnu 2005. Od této doby byla odstavena chlorace chlornanem sodným. První chlorování celé sítě bylo provedeno až za více než rok v listopadu 2006.

V červnu roku 2006 byl na základě dosažených výsledků schválen pro vodovod Soběnov nový provozní řád, který zajišťuje, že dávkování chlornanu sodného zůstalo nainstalováno jako rezerva pro zajištění chlorace v případě potřeby (výpadek, oprava, nedostatečná účinnost UV lamp při zhoršené kvalitě vody apod.). Pro trvalý provoz byly projednány a stanoveny tyto podmínky: [17]

1. Zařízení pro dezinfekci pitné vody UV zářením bude provozováno v souladu s pokyny výrobce. [17]
2. Údržba vodovodního řadu bude prováděna v souladu se schváleným provozním řádem s důrazem zejména na dodržování termínů pravidelného proplachování vodovodního řadu. [17]
3. V četnosti 2x za rok bude provedeno chlorování vodovodního řadu zvýšenou dávkou chlornanu sodného. O provádění této preventivní dezinfekci budou spotřebitelé předem informováni. [17]
4. Výše uvedené povinnosti budou zapracovány do dodatku provozního řádu, se kterým budou seznámeni pracovníci obsluhy. [17]

## ***Zkušenosti a poznatky***

Po ukončení dávkování chlornanu sodného a zprovoznění UV zářiče vykazovala voda z bakteriologického hlediska vynikající výsledky, což můžeme vidět v následující *tabulce 2.1*. V tabulce nejsou uvedeny koliformní bakterie a bakterie *E. Coli* z důvodu jejich nulových hodnot. [17]



**Tabulka 2.2** Mikrobiologická jakost vody [17]

období	typ dezinfekce	počet vzorků	statistická hodnota	počty kolonií při 22 °C (KTJ/100 ml)	počty kolonií při 36 °C (KTJ/100 ml)
05/2003 až 10/2005	NaClO	9	průměr <sup>1)</sup>	33,7	51,0
			min.	3,0	0,0
			max.	120,0	135,0
11/2005 až 10/2006	UV	6	průměr <sup>1)</sup>	15,4	4,3
			min.	0,0	0,0
			max.	27,0	12,8
11/2006 až 03/2012	UV	24	průměr <sup>1)</sup>	34,7	0,0
			min.	0,0	58,0
			max.	150,0	20,0
Stanovený limit vyhláškou č. 252/2004 Sb. (MH)				200,0	20,0

1) mimo zjištěných 0 KTJ

Provozní a pořizovací náklady na zdravotní zabezpečení pitné vody prostřednictvím UV lampy se pohybují okolo 1,3 Kč·m<sup>-3</sup>, náklady na zdravotní zabezpečení prostřednictvím chlornanu sodného by se za stejných podmínek pohybovaly okolo 0,42 Kč·m<sup>-3</sup>.

Zhodnocení prvního roku provozu používání UV lampy pro zdravotní zabezpečení pitné vody v obci Soběnov bylo po všech stránkách kladné. [17]

1. Provoz fungoval zcela bez mikrobiologických závad bez provedení chlorace celý rok, nebylo zaznamenáno mikrobiologické ohrožení pitné vody. [17]
2. Jakost vody se ve fyzikálně – chemických ukazatelích nezměnila. [17]
3. Výhodou je, že do pitné vody se nevnanášejí cizorodé chemické látky a je odstraněno riziko vzniku vedlejších produktů chlorace. [17]
4. Spotřebitelé jsou spokojeni, zlepšily se chuťové a pachové vlastnosti pitné vody. [17]
5. KHS kromě výše uvedeného kladně hodnotilo i tyto skutečnosti:
  - a) Je odstraněno riziko stížností obyvatel na chuťové a pachové závady související s chlorací pitné vody, které jsou dle zkušeností KHS JČ kraje relativně časté. [17]
  - b) KHS získala zkušenosti se zdravotním zabezpečením pitné vody pomocí UV lampy. Soběnov je v jižních Čechách prvním případem, kdy byl tento způsob zdravotního zabezpečení pitné vody instalován pro vodovod pro veřejnou potřebu. [17]

K dosaženým výsledkům jistě také patří, že obyvatelé obce jsou s kvalitou pitné vody v obci velmi spokojeni. Za cenu 0,01 Kč·litr<sup>-1</sup> jim teče z kohoutku voda v kvalitě jinak prodávané jako balená voda za cenu zhruba 450 x vyšší. [17]

### 2.3.3 Skupinový vodovod Vrbka

#### *Charakteristika systému*

Skupinový vodovod Vrbka zásobuje 77 spotřebitelů a jeho provozovatelem je VaK Havlíčkův Brod. Zdrojem vody je podzemní voda. [21,22] Sít' byla vybudována v 70. letech z ocelového potrubí [21], roku 2012 proběhla rekonstrukce celé sítě, v současné době je zhotovena pouze z PE. Poruchovost do roku 2012 byla vysoká, od výměny potrubí byla sít' bez poruchy. Ztráty vody se do roku 2012 pohybovaly okolo 30 %, po rekonstrukci byly sníženy zhruba na 1 %. Průměrná spotřeba vody je za posledních 5 let cca 3 160 m<sup>3</sup>·rok<sup>-1</sup>. [12] Původním zdravotním zabezpečením pitné vody bylo dávkování chlornanu sodného. V síti se vyskytovaly problémy se zvýšeným obsahem železa, přičemž obsah železa ve zdroji byl v normě okolo 0,18 mg·l<sup>-1</sup>. [21]

#### *Způsob zásobování bez desinfekčního činidla*

V březnu roku 2007 byla uvedena do provozu UV výbojka a dávkovací čerpadlo chlornanu sodného bylo odstaveno, avšak bylo ponecháno pro potřebu znovu zprovoznění. [21] Chlorování sítě se provádí v případě potřeby. Proplachy na síti jsou prováděny minimálně 2x ročně a vždy při výskytu zákalu vody. [12]

#### *Zkušenosti a poznatky*

Veřejný vodovod Vrbka se potýkal s problémem zvýšeného obsahu železa v síti, z tohoto důvodu musel být řad často proplachován a docházelo ke stížnostem odběratelů na kvalitu pitné vody. Po odstavení dávkování chlornanu sodného a uvedení UV lampy do provozu klesly koncentrace železa na normové hodnoty (0,20 mg·l<sup>-1</sup>). [21] Vysvětlením může být to, že potrubí při aplikaci UV lampy (rok 2007) bylo zhotoveno z ocelového potrubí starého cca 40 let. Při špatném stavu vnitřní izolační vrstvy ocelového potrubí se v důsledku koroze a následném vzniku inkrustů a oxidů železa může výrazně zvýšit obsah železa v dopravované vodě. Chlor vodu okyseluje a snižuje jí pH, tím pádem může voda korodovat ocelové potrubí.

Koroze železnatého materiálu může být chápána jako oxidace kovového železa (Fe<sup>0</sup>) na železnatý iont (Fe<sup>2+</sup>), který může reagovat s chlorem následující reakcí: [6]



Chlor může snadno reagovat s redukovanou formou železa vyskytujícího se na povrchu potrubí, hromadění těchto korozních produktů a uvolňování do vody může vést ke změně jakosti vody. [56]

Investice do zdravotního zabezpečení pitné vody UV lampou se pohybovala okolo 50 tis. Kč. V následujícím přehledu je porovnávána výše provozních nákladů. Srovnávána byla dvě období, a to od 1. 3. 2006 do 1. 3. 2007 (I -dávkování chlornanu sodného) a od 1. 3. 2007 do 1. 3. 2008 (II -UV) co do počtu vykázaných hodin, nutných k zabezpečení provozu. [21]

**Tabulka 2.3** Srovnání investic provozu při použití chlornanu sodného a UV lampy

činnost	I. Období dávkování NaClO (03/2006 - 03/2007)		II. Období UV lampa 03/2007 - 03/2008)	
	[hod]	náklady [Kč]	[hod]	náklady [Kč]
Odkalování sítě <sup>1)</sup>	27	5 508	15	3 060
Elektrikářské práce <sup>1)</sup>	117	23 868	92	18 768
Kontrola a doplňování chlornanu <sup>1)</sup>	76,5	15 606	0	0
50 cest, tj. celkem 630 km	-	8 190	-	0
Náklady na EN	-	9 868,23	-	18 153,21
Výměna lampy 1x ročně	-	0	-	2 500
<b>Náklady celkem (bez chlornanu)</b>	-	<b>72 908,23</b>	-	<b>42 481,21</b>

1) sazba 204 Kč/hod

Výroba vody činila  $3\,250\text{ m}^3\cdot\text{rok}^{-1}$ , náklady na výrobu  $1\text{ m}^3$  pitné vody při použití chlornanu sodného se pohybovaly okolo  $22,43\text{ Kč}\cdot\text{m}^{-3}$ , náklady na výrobu vody při UV dezinfekci se pohybovaly okolo  $13,07\text{ Kč}\cdot\text{m}^{-3}$ . Bez zahrnutí montážních prací návratnost celé investice vycházela na 2 roky. Za sledované období bylo provedeno 10 bakteriologických rozborů, jejichž výsledek byl vždy negativní. [21]

Možností změny dezinfekce chlorem za UV se vyřešily problémy se zvýšeným obsahem železa, investice se pohybovaly okolo 50 tis. Kč. [21]

### 2.3.4 Skupinový vodovod Mladá Boleslav

#### *Charakteristika systému*

Skupinový vodovod Mladá Boleslav zásobuje cca 60 000 obyvatel. Provozovatelem vodovodu je VaK Mladá Boleslav, a.s. Zdrojem surové vody je podzemní voda (12-15 vrtů o hloubce až 150 m, s napjatou hladinou). Na úpravě vody je využito aerace a pískové filtrace na odstranění železa a manganu, maximální výkon úpravní je  $280\text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ . Celková délka vodovodní sítě je 306 km. Roční výroba vody se pohybuje kolem  $4,0\text{ mil. m}^3$ . Nefakturovaná voda činila v roce 2013 11 % z vody vyrobené k realizaci. Původně byla voda dezinfikována plynným chlorem na úpravě vody. [9,19,20,26]

#### *Způsob zásobování bez desinfekčního činidla*

V lednu roku 2014 provozovatel rozhodl o odstavení trvalé dezinfekce chlorem na základě tříleté předběžné studie. Rozhodnutí bylo za účasti Státního zdravotního ústavu Praha a Technologického centra vody Drážďany. Při distribuci vody bez chemické dezinfekce budou prováděny přísnější kontroly výroby a distribuce pitné vody na tomto skupinovém vodovodu. [7] Součástí příprav bylo školení pracovníků pomocí metodické příručky s názvem Zásady správné praxe při výstavbě a opravách vodovodní sítě z hlediska prevence mikrobiologické kontaminace. [19]

### ***Zkušenosti a poznatky***

Práce na projektu byly zahájeny zpracováním údajů za posledních 5 let a podrobným průzkumem prameniště, úpravny vody a všech objektů vodovodů. Odebírání vzorků probíhalo jednou týdně za standardního provozu s dávkováním plynného chloru. Cca měsíc po zastavení dávkování plynného chloru se na některých odběrných místech vyskytly nízké nálezy koliformních bakterií. Dalším vzorkováním bylo zjištěno, že bakterie se do vodovodu dostávají při distribuci. Dále bylo zjištěno, že na dvou hlavních vodojemech je poškozená vodorovná izolace akumulčních komor (pod násypy zeminy) a při dešti dochází k průsaku dešťové vody do nádrže. Jeden vodojem byl odstaven z provozu do doby provedení opravy a v druhém vodojemu bylo znovu zahájeno dávkování chlornanu do přítoku do nádrže. Po odstranění technických závad na vodojemech bylo opět zahájeno vzorkování po dobu 3 měsíců, přítomnost koliformních bakterií již nebyla prokázána. Na konci roku 2013 bylo prohlášeno, že skupinový vodovod Mladá Boleslav lze provozovat bez dávkování dezinfekčních prostředků. Jedná se o největší tuzemský vodovod s provozem bez desinfekčního činidla. [19,26]

#### **2.3.5 Strážišť – Vicemanov, Mohelsko, Horní Bukovina**

Vodovody jsou ve správě VaK Mladá Boleslav. V roce 2010 byly vybrány menší vodovody (Horní Bukovina, Mohelská vodovodní skupina, Strážišť – Vicemanov. Bylo zahájeno ověřování možnosti ukončení chemické dezinfekce za spolupráce hydrogeologa. Byly vyhodnocovány rozborů kvality vody za posledních 5 let, byly uskutečněny prohlídky všech vodojemů a byla vytipována riziková místa. Na základě zpracované rizikové analýzy byly označeny tyto vodojemy s možností zastavení chemické dezinfekce. Nejčastější technickou závadou bylo odvětrání na starších vodojemech. Od roku 2012 se provádějí pravidelné úklidy vnitřních prostor vodárenských objektů. Při průzkumech spokojenosti zákazníků s kvalitou dodávané pitné vody se provozovatel nejčastěji setkával s výhradami pachu vody po chloru a s obavou z přítomnosti sekundárních produktů chlorace. [19]

#### **2.3.6 Veřejný vodovod Gabčíkovo (Slovenská republika)**

##### ***Charakteristika systému***

Veřejný vodovod Gabčíkovo zásobuje cca 5 000 obyvatel, provozovatelem je Dunajská Streda. Zdrojem vody je podzemní voda ze studní. Objem dodávané vody se pohybuje okolo  $482 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$ . Vodovodní síť je zhotovena z litiny, PE a PVC, délka sítě je cca 19,3 km, ročně se vyskytuje zhruba 10 lokálních poruch. Poruchovost činí cca  $0,52 \text{ poruch} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ . Původní dezinfekce byla prováděna plynným chlorem. [38]

##### ***Zkušenosti a poznatky***

V období 2013 - 2014 byl realizován zkušební provoz s omezeným režimem dezinfekce. Před zkušebním provozem byly odebrány 2 vzorky vody (2011 – 2012), ve kterých byly stanoveny vybrané chemické, biologické a mikrobiologické ukazatele a akutní ekotoxicita. Zkušební provoz byl rozdělen do tří etap. [38]

1. Etapa: koncentrace volného chloru na výstupu z akumulace byla nastavena na hodnotu  $0,2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ . (únor 2013 – duben 2013) [38]
2. Etapa: koncentrace volného chloru na výstupu z akumulace byla nastavena na hodnotu  $0,1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ . (duben 2013 – červenec 2013) [38]
3. Etapa: bez dezinfekce (červenec 2013 – únor 2014) [38]

Během zkušebního provozu bylo odebráno 14 vzorků, a to z míst zdroje vody, z akumulace a ze dvou míst na síti. Z výsledků předběžného průzkumu a zkušebního provozu s omezeným dávkováním desinfekčního činidla vyplývá, že nebyly překročeny mezní hodnoty, respektive nejvyšší mezní hodnoty sledovaných ukazatelů. [38]

Stanovení ukazatele akutní toxicity se vykonávalo standardizovanými metodami. Byly použity 3 zkušební organismy: [38]

- řasa *Desmodesmus subspicatus* – producent biomasy,
- korýš *Thamnocephalus platyurus* – konzument biomasy,
- bakterie *Vibrio fischeri* – destruent biomasy

Z důvodu zabránění toxického působení na zkušební organismy byl chlor před analýzami z vod odstraněn. Ekotoxikologická zkouška se vykonávala jako limitní, tzn. hodnotila se jedna nejvyšší možná koncentrace a výsledek byl vyjádřený jako procento inhibice nebo stimulace růstu řas, bioluminiscence bakterií, resp. mortality korýšů. Hodnoty dosažené ve vzorcích byly porovnány s výsledky zjištěnými v kontrole. Výsledky monitorování vedlejších produktů dezinfekce byly považovány za pozitivní v případě, když procento inhibice, nebo mortality zkušebních organismů bylo větší než 30 % v porovnání s kontrolou. [38]

**Tabulka 2.4** Mikrobiologická jakost vody [38]

ukazatel	zdroj vody	veřejný vodovod s chlorem	veřejný vodovod bez chloru	jednotka
	2007 - 2014	2007 - 2013	2013 - 2014	
Volný chlor	0	0.1 - 0.2	0	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$
<i>E. Coli</i>	0	0	0	KTJ/100 ml
Koliformní bakterie	0	0	0	KTJ/100 ml
Enterokoky	0	0	0	KTJ/100 ml
kolonie při 22 °C	0 - 107	0 - 58	0 - 64	KTJ/ ml
kolonie při 37 °C	0 - 6	0 - 50	0 - 32	KTJ/ ml
bezbarví bičíkovci	0	0	0	jed./ml
živé organismy	0	0	0	jed./ml
vláknité bakterie	0	0	0	jed./ml
mikromycety	0	0	0	jed./ml
mrtvé organismy	0	0	0	jed./ml
Fe a Mn bakterie	0 - 1	0 - 1	0 - 1	%
Abioseston	0 - 1	0 - 1	0 - 1	%

Po dobu realizace zkušebního provozu v období 2013 – 2014 byla voda z chemického, mikrobiologického a biologického hlediska vyhovující kvality. V tomto období nebyly

zaznamenány žádné infekční onemocnění v souvislosti s pitnou vodou. Rozdíly v kvalitě vody byly zaznamenány ve výsledcích stanovení ukazatele akutní ekotoxicity.

Po dobu monitorování výsledky stanovení akutní ekotoxicity na vzorku ze studny byly negativní. Po dezinfekci chlorem byly zaznamenány následující změny v kvalitě vody [38]:

- V době přítomnosti chloru v pitné vodě o koncentraci  $0,06 - 0,2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  vykazovaly ze 7 vzorků vody 4 vzorky pozitivní účinek na *Desmodesmus subspicatus*, resp. na *Thamnocephalus platyurus*. [38]
- Při koncentraci chloru  $0,0 - 0,05 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  neměla voda žádný účinek na zkušební mikroorganismy. [38]
- V období úplného zastavení chloru odebrané vzorky nevykazovaly vliv ani na jeden z použitých zkušebních organismů. [38]
- Ve vzorcích vody ze zdroje, akumulace a z míst na vodovodu bez dezinfekce chlorem, byly stanoveny hodnoty akutní ekotoxicity maximálně do 12 %, tj. voda nevykazovala účinek na zkušební organismy. [38]

Na základě těchto výsledků je možné poukázat na přímou souvislost mezi obsahem volného chloru, nebo-li vznikem vedlejších produktů dezinfekce a jejich vlivem na zkušební organismy. Výsledky ekotoxikologických zkoušek naznačují, že použití těchto metod se může stát vhodným nástrojem na zjišťování přítomnosti potenciálního nebezpečí chemických látek nacházejících se v pitné vodě. Lze také konstatovat, že zkušební provoz veřejného vodovodu Gabčíkovo s vynecháním dávkování chloru potvrdila reálnou možnost distribuovat kvalitní pitnou vodu i bez použití chemické dezinfekce. [38]

### **2.3.7 Legislativní požadavky při přechodu na zásobování vodou bez desinfekčního činidla**

Legislativa v České republice týkající se hygieny vody je obsažena v zákoně o ochraně veřejného zdraví č. 258/2000 Sb. (v platném znění). K tomuto zákonu se vztahuje vyhláška č. 252/2004 Sb. pro pitnou vodu. V těchto předpisech jsou zahrnuty požadavky evropské směrnice 98/83/ES o jakosti vody určené k lidské spotřebě.

Vyhláškou č. 252/2004 Sb. jsou stanoveny hygienické limity mikrobiologických, biologických, fyzikálních, chemických a organoleptických ukazatelů jakosti pitné vody. Vyhláška dále stanovuje rozsah a četnost kontroly dodržení jakosti pitné vody a požadavky na metody kontroly jakosti pitné vody. Ve vyhlášce není stanovena minimální koncentrace chloru v pitné vodě, je pouze stanovena maximální hodnota volného chloru, a to  $0,3 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ , a dále je stanoveno, že pitná voda musí mít takové fyzikálně-chemické vlastnosti, které nepředstavují ohrožení veřejného zdraví. Pitná voda nesmí obsahovat mikroorganismy a parazity a látky jakéhokoliv druhu v počtu nebo koncentraci, které by mohly ohrozit veřejné zdraví. [55] V následující tabulce je přehled vývoje požadavku na obsah chloru v pitné vodě v ČR.

**Tabulka 2.5** Vývoj požadavků na obsah chloru v pitné vodě v ČR [54]

předpis	platnost	požadavek na obsah chloru
ČSN 56 7900 Pitná voda	1959 - 1964	Zbytkový chlor maximálně 0,2 mg·l <sup>-1</sup> u spotřebitele
ČSN 83 0611 Pitná voda	1964-1974	Zbytkový chlor Cl <sub>2</sub> maximálně 0,2 mg·l <sup>-1</sup> u spotřebitele
ČSN 83 0611 Pitná voda	1975-1990	Aktivní chlor: u vod zabezpečovaných u spotřebitele nejméně 0,05 mg·l <sup>-1</sup> , nejvýše 0,3 mg·l <sup>-1</sup> Cl <sub>2</sub>
ČSN 75 7111 Pitná voda	1991-2000	Chlor aktivní. Mezní hodnota: nad 0,05 mg·l <sup>-1</sup> . Doporučená hodnota 0,05 až 0,3 mg·l <sup>-1</sup> . Poznámka: Chlor aktivní (u chlorovaných vod). U vod zabezpečovaných chlorem u spotřebitele vždy pozitivní nález: doporučuje se nejméně 0,05 mg·l <sup>-1</sup> , nejvýše 0,3 mg·l <sup>-1</sup> (kromě stavů zvýšeného epidemiologického ohrožení spotřebitelů, kdy orgán hygienické služby nařizuje dočasně zvýšení dávky desinfekčního prostředku).
Vyhláška MZ č. 376/2000 Sb., kterou se stanoví požadavky na pitnou vodu a rozsah a četnost její kontroly	2001-2004	Chlor volný: mezní hodnota 0,3 mg·l <sup>-1</sup> . Poznámka: Obsah volného chloru... se stanovuje jen v případě dezinfekce pitné vody prostředky obsahujícími chlor... Mezní hodnota volného chloru je vztažena k obsahu volného chloru po úpravě. Minimální hodnota volného chloru v distribuční síti je 0,05 mg·l <sup>-1</sup> .
Vyhláška MZ č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody	2004 – dosud	Chlor volný: mezní hodnota 0,3 mg·l <sup>-1</sup> . Poznámka: Obsah volného chloru... se stanovuje pouze v případě použití chloru nebo prostředků obsahujících chlor... V případě využití vázaného aktivního chloru (např. ve formě chloraminů) pro dezinfekci, platí pro celkový aktivní chlor mezní hodnota 0,4 mg·l <sup>-1</sup> .

Ze Zákona č. 258/2000 Sb. (§4) vyplývá, že každá individuální změna v technologii úpravy pitné vody (tedy i instalace UV zařízení) podléhá navíc schválení místním orgánem ochrany veřejného zdraví (krajské hygienické stanici). Dále „Akční plán zdraví a životního prostředí České republiky“, schválený vládou, který předpokládá zavádění nových technologií úpravy pitné vody, jež by minimalizovaly riziko toxických vedlejších produktů dezinfekce. Totéž požaduje evropská směrnice 98/83/ES (o kvalitě vody určené pro lidskou spotřebu). [17]

Ministerstvo zdravotnictví ve spolupráci se státním zdravotním ústavem by mělo pro provoz bez desinfekčního činidla vytvářet vhodné prostředky jak legislativní, tak informativní. Z legislativní oblasti lze uvést např. vypuštění požadavku na minimální obsah chloru ve vodě (2004) nebo úprava limitů pro počty kolonií (2014). [9]

### 2.3.8 Shrnutí

V České republice (ČR) z legislativního hlediska lze vodovod provozovat bez dezinfekce a bez udržování zbytkového desinfekčního činidla v síti. Důležitým ukazatelem je, jakou má dodávaná voda jakost a zda splňuje limity stanovené vyhláškou č. 252/2004 Sb. V ČR je známo devět vodovodů, které jsou v provozu bez chemického desinfekčního činidla, z toho většina využívá k zdravotnímu zabezpečení vody UV lampu. Žádný z vodovodů neměl

mikrobiologické problémy s tímto provozem a voda splňuje mikrobiologické požadavky dané vyhláškou č. 252/2004 Sb. Voda upravována bez chemického desinfekčního činidla je spotřebiteli kladně hodnocena, zejména její chuť a vůně, a nedochází k obavám z vedlejších produktů dezinfekce. Náklady na výrobu vody v provozu bez chemického desinfekčního činidla jsou v některých systémech menší, v některých systémech větší. Záleží na technickém stavu systému a jeho velikosti. Po upuštění od používání chloru k dezinfekci vody se ve vodovodním systému Vrbka setkali s úbytkem dusitanů a ve vodovodním systému Přelouč se setkali s úbytkem železa.

## **2.4 ZAHRANIČNÍ PŘÍKLADY ZÁSOBOVÁNÍ VODOU BEZ DEZINFEKČNÍHO ČINIDLA**

Mezi některé evropské státy a města, která neaplikují chemickou dezinfekci, patří Švýcarsko (Curych), Německo (Ludendrof, Berlín), Slovinsko (Lublaň), Lucembursko a téměř celé Nizozemsko. Tyto vodárny se spoléhají na kvalitní zdroj pitné vody a jeho ochranu, moderní úpravu vody a fyzickou integritu distribučního systému. [23, 20, 1]

### **2.4.1 Švýcarsko Curych**

Zásobování vodou v Curychu je od roku 1993 prováděno bez přidávání desinfekčního činidla na odtoku z úpravní vody. [48] Curych je příkladem, že i povrchovou vodu lze distribuovat bez desinfekčního činidla.

#### ***Charakteristika systému***

V Curychu je zásobováno pitnou vodou zhruba 350 000 spotřebitelů. Voda nefakturovaná činí cca 57 mil. m<sup>3</sup>. [43] Ztráty vody jsou okolo 5 % [8] Zdrojem vody je ze 70 % povrchová jezerní voda a zbytek je z podzemních zdrojů. Pouze 15 % vody je dezinfikováno, avšak neexistuje žádný požadavek a udržování zbytkové koncentrace desinfekčního činidla v síti. Distribuční síť má celkovou délku 1 120 km. Materiálem je z 37,5 % šedá litina, 43 % tvárná litina, 3 % ocel a zbytek je z PE. Poruchovost v roce 2005 odpovídala 0,24 poruch·km<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>. V roce 2005 bylo pouze 0,13 % sítě čištěno, 1,9 % nahrazeno a zhruba 1,6 % z přípojek je vyměněno, nebo opraveno každý rok. Minimální tlak je 350 kPa, v posledních deseti letech nebyla zaznamenána infiltrace kontaminované vody. Po opravách se provádí mikrobiologické rozbor, dezinfekce vody se provádí, pokud je zjištěno překročení mikrobiálních limitů. Proplachování a dezinfekce se opakuje, dokud nejsou splněny mikrobiální limity. Pro dezinfekci je použit pouze chlornan sodný. Čištění se provádí proplachováním potrubí a odstraňují se sedimenty, organický materiál a biofilm. Jednou ročně jsou vodou čištěny akumulární prostory a v případě staveb v nádrží jsou také dezinfikovány podlahy a stěny postřikem zředěným chlornanem sodným. Preventivní kontroly úniku jsou z 50 % sítě kontrolovány jednou ročně, a to na základě měření průtoků a akustických systémů. [43]

#### ***Způsob zásobování bez desinfekčního činidla***

Před úplným zastavením dávkování desinfekčního prostředku pro ochranu sítě se doporučuje snižovat dávkování postupně. Současně je nutno kontinuálně sledovat hygienickou jakost vody. Zvláštní pozornost je nutno věnovat úsekům s nízkými průtoky, s potrubím z plastů



nebo s organickými vnitřními nátery. V rozvodné síti v Curychu bylo vybráno v celé síti 23 odběrných míst, v nichž se 3x týdně odebírají vzorky, u nichž se zjišťuje jakost vody podle standardních metod pro bakteriologické rozborů. Vodárna Curych sledovala koncepci postupného snižování dávkování prostředků pro ochranu sítě po dobu 30 let. Aby byla vodárna připravena na případné bakteriální znečištění na výstupech z úpraven, ve vodojemech nebo v rozvodné síti, udržuje stále v provozuschopném stavu zařízení na dávkování oxidu chloričitého. Pro lokální dezinfekci je připraveno v pohotovosti mobilní zařízení pro dávkování desinfekčního prostředku. Proplachy sítě provádí vodárny v Curychu 2x ročně z důvodu zamezení nepříznivého vlivu stagnace vody. [48]

### ***Zkušenosti a poznatky***

Vodárny nemívají problém se zhoršenou kvalitou vody, pouze se příležitostně vyskytují zvýšené počty kolonií na koncích rozvodné sítě. [48]

Během prvních tří měsíců po odstavení dávkování do sítě se nedělo nic zvláštního. Mediánová hodnota (12–28 odběrů za týden) celkového počtu zárodků stoupla na výstupech z úpraven z 0 až 4 KTJ·ml<sup>-1</sup> na 0 až 7 KTJ·ml<sup>-1</sup>. V rozvodné síti bylo zjištěno zvýšení mediánové hodnoty (66 vzorků za týden) z 0 až 3 KTJ·ml<sup>-1</sup> na 0 až 5 KTJ·ml<sup>-1</sup>. Občas se vyskytující počty zárodků ve výši 100 až 300 KTJ·ml<sup>-1</sup>, zjišťované i dříve, bylo možno odstranit intenzivním výplachem dotčeného řadu při rychlosti průtoku 0,5 m·s<sup>-1</sup>. [48]

Jednou došlo ke kritické situaci, když v březnu 1993 bylo nutno na týden zastavit provoz úpravní jezerní vody Lengg. Po opětovném uvedení úpravní do provozu stoupl počet zárodků v upravené vodě nad 1000 KTJ·ml<sup>-1</sup>. Tím se také zvýšil počet zárodků v síti. V důsledku toho bylo nutné v této úpravně vody zajistit dávkování 0,05 mg·l<sup>-1</sup> oxidu chloričitého na výstupu z úpravní. Počet zárodků v síti potom ihned poklesl na hodnoty pod 10 KTJ·ml<sup>-1</sup>. Také počet zárodků ve filtrátu z pomalých pískových filtrů poklesl v průběhu 2 měsíců pod požadovaných 20 KTJ·ml<sup>-1</sup>, byl tedy možný další provoz bez desinfekčního činidla. Příčinou zvýšení počtu zárodků byl silný rozvoj mikroorganismů v pomalých filtrech, které v době odstávky úpravní byly zatopeny vodou, a jejich vyplavování po opětovném uvedení úpravní do provozu. Tento případ ukazuje, že při provozu úpravní bez ochrany sítě je nutno všem postupům úpravy bez výjimky věnovat mimořádnou pozornost. Personál proto musí být seznámen s bezpečnostními opatřeními, která je nutno aplikovat, když se pracuje se zařízeními, která jsou ve styku s vodou. Všichni lidé v provozu a údržbě si dnes jsou vědomi, že pracují s potravinou a že všechny předměty, které s touto potravinou přijdou do styku, musí být v hygienicky bezvadném stavu. [48]

V Curychu se podařilo prokázat, že rozvod vody bez přidávání chemikálií pro ochranu vody v síti je možný i při úpravě povrchové vody. Účinný proces úpravy vody, kterým se dosáhne snížení obsahu asimilovatelného organického uhlíku (AOC) a počtu zárodků, je pro to bezpodmínečně nutný. Další podmínkou je čistá a dobře udržovaná rozvodná síť. Při zavádění provozu bez ochrany sítě desinfekčním činidlem je nutno začít s postupným snižováním dávky desinfekčního činidla a současně s přísnou kontrolou hygienických parametrů v síti. [48]

## **2.4.2 Německo Berlín**

V Berlíně je zásobování pitnou vodou bez jakéhokoli desinfekčního činidla více než 25 let. Ve východní části Berlína od roku 1990 a v západní části od konce 70. let. [9]

## ***Charakteristika systému***

V Berlíně je zásobováno zhruba 3,4 mil. spotřebitelů. Voda fakturovaná činí  $195 \text{ mil.m}^3\cdot\text{rok}^{-1}$ . Objem vody nefakturované je pod 5 %. Zdrojem vody je podzemní voda. Délka vodovodní sítě 7 800 km. Větší polovina sítě je zhotovena z šedé litiny, 22 % je z tvárné litiny, 12 % z azbestocementu a 10 % z oceli. Plastová potrubí se v Berlíně takřka nevyskytují. Tlak v síti se pohybuje od 0,28 až 0,5 MPa. Poruchovost je přibližně  $0,1 \text{ porucha}\cdot\text{km}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ . Ročně je čištěno 0,1 %, nahrazeno 0,8 % a zrekonstruováno 0,1 % potrubí. V Berlíně existují hygienické pokyny při opravách, ale nejsou zde žádné desinfekční rutiny, [43] pouze se distribuční síť cca 2x ročně jednorázově nachloruje. [8]

### **2.4.3 Německo Ludendorf**

Zdrojem vody jsou dva hlubinné vrty. Odtud voda putuje na ÚV Ludendorf, kde je surová voda provzdušňována a filtrována. Dříve byla pitná voda zdravotně zabezpečována dávkováním oxidu chloričitého o koncentraci  $0,1 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . Desinfekční reziduum v síti se pohybovalo minimálně  $0,05 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . Kapacity úpravní vody Ludendorf je  $0,5 \text{ mil. m}^3\cdot\text{rok}^{-1}$ . [40]

### ***Způsob zásobování bez desinfekčního činidla***

Před vyřazením chemické dezinfekce byla vyhodnocena data za posledních 9 let. (2000 až 2009). Nebyly zjištěny žádné mikrobiologické abnormality. Nebylo prokázáno ovlivnění povrchovou vodou a obsah živin byl nízký. Počty kolonií byly většinou velmi nízké. Na základě výsledků z analýzy byly stanoveny 14denní intervaly pro odběry vzorků pro monitorovací program. [40]

Pro odběr vzorků byla určena následující místa: [40]

- surová voda,
- voda po úpravě ale z místa před dezinfekcí,
- voda z místa po dezinfekci,
- dvě místa na hlavním řadu (P1, P3),
- dvě místa na síti s ohledem na delší dobu zdržení (P2, P4).

Sledovány byly následující parametry: [40]

- počet kolonií (při  $20^\circ\text{C}$  a  $36^\circ\text{C}$ ),
- *pseudomonas aeruginosa*,
- AOC – asimilovatelný organický uhlík,
- DOC – rozpuštěný organický uhlík,
- TOC – celkový organický uhlík (pohyboval se v rozmezí  $0,7$  až  $0,9 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ).

Bakteriologické výsledky z monitoringu před ukončením dezinfekce byly následující, *E. Coli*, *koliiformy*, *Pseudomonas aeruginosa* nebyly detekovány. Počty kolonií při  $36^\circ\text{C}$  měly větší hodnotu při distribuci s chlorem v místě P3 o průměrné hodnotě 51 KTJ/ml. Při distribuci bez chemického desinfekčního činidla měly průměrnou hodnotu v tomto místě 4,8 KTJ/ml.

Zvýšené počty kolonií při 20 °C se vyskytly při distribuci vody s chemickým desinfekčním činidlem v místech P3 a P4 o průměrných hodnotách 0,2 a 0,3 KTJ/ml po ukončení dezinfekce byly pod detekovatelným limitem. Obsah TOC se pohyboval od 0,7 – 0,9 mg·l<sup>-1</sup>. [40]

V Německu nechloruje Berlín, Mnichov, Kolín nad Rýnem, aglomerace Mannheim Ludwigshafen. Průzkum provedený v roce 1991 v Německu mezi tisícem provozovatelů s více než 3 000 úpravami ukázal, že již tehdy větší polovina provozovatelů distribuovala vodu bez chloru či jiného zbytkového desinfekčního činidla. [54]

#### 2.4.4 Nizozemsko

V Nizozemsku, v roce 1990, byla dezinfekce povrchové vody chlorem nahrazena ozonem, nebo membránovou filtrací jako hlavní bariérou proti patogenům. Výjimkou byly dvě úpravy. V roce 2006 byla v těchto dvou úpravách chemická dezinfekce chlorem nahrazena UV dezinfekcí. [1] Nizozemsko je zemí, kde chlor nepoužívají vůbec, ani pro primární dezinfekci, ani k udržení zbytkového desinfekčního činidla v distribuční síti. [29]

Roku 1983 se začalo v Amsterdamu experimentovat s postupným snižováním chloru až k nule a monitorováním vodní kvality. Snižovat se začalo z důvodu výskytu THM. Chlorace povrchových vod byla nahrazena jinými desinfekčními procesy a to: [28]

- Amsterdam: ozon + pomalá písková filtrace,
- Rotterdam: UV, rok 2005,
- Jihozápad Nizozemska: ozon,
- Severozápad Nizozemska: UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (2004).

Od roku 2005 je chlorace použita pouze v pohotovostních situacích. [28]

V Nizozemsku jsou preferovány podzemní zdroje z důvodu mikrobiologické bezpečnosti, tyto vody jsou biologicky stabilní, tudíž není potřebná chlorace pro prevenci bakteriálního růstu. Voda je dopravována v systému pod tlakem, což je ochranou proti vniku kontaminované vody. V západní části země (Amsterdam, Hague a okolí) je voda získávána z povrchových zdrojů, a to z řek Meuse a Rhine. Voda je předupravena a dopravena do dun (podzemních kolektorů) a infiltrována. Touto před-upravenou povrchovou vodou se 10x zvýšila kapacita přírodních podzemních vod. Řeky Meuse a Rhina jsou znečištěny odpadními vodami a splachy z okolních zemědělských půd. Vsakování poskytuje přírodní filtr a zachytí mikrobiologické znečištění, také udržuje konstantní jakost a teplotu vody. Infiltrována povrchová voda je upravena a s multibariérovým přístupem ochrany je poskytnuta jako pitná voda s vysokou kvalitou. [29]

Délka vodovodní sítě je 100 000 km sítě (> 50 mm) se skládá z polyvinylchloridu (PVC, 40 %), azbest (36 %), litiny (14 %), polyethylen (2,5 %) a další (7,5 %). Míra úniku (ztráty vody) je nízká, zpravidla < 3 %. Většina z distribučního systému se skládá z biologicky stabilního azbestocementu (eternitu) nebo PVC, který se obecně používá při nahrazování starých potrubí. V Nizozemsku je navržen optimalizovaný distribuční systém tak, že je zabráněno stagnaci vody a hromadění sedimentů pomocí pokročilých síťových modelů. Vzhledem k tomu, že distribuční systémy mají dlouhou životnost, změny v konstrukcích mohou být realizovány pomalu. [29]

Z důvodů větší poptávky byla zapotřebí přímá úprava povrchové vody z vodních nádrží. Od roku 1973 byla povrchová voda upravována výhradně koagulací, sedimentací, filtrací a dezinfekcí chlorem. Voda byla dodávána se zbytkovým reziduem chloru, což někdy vedlo ke stížnostem zákazníků na organoleptické vlastnosti vody (zejména chuti a vůně). Když chemik z Rotterdamu Joop Rook objevil, že dezinfekcí chlorem může docházet ke tvorbě vedlejších produktů dezinfekce, jako jsou například trihalometany (THM). Vedlo to k revoluci ve filozofii ohledně úpravy vody v Nizozemsku. [29]

Došlo k optimalizaci filtrace, koagulace, sedimentace a začalo se upouštět od používání chloru jako desinfekčního činidla. Zpočátku byly dávky chloru pouze snižovány. Nakonec byla chlorace nahrazena oxidací ozonem v kombinaci GAU filtrací, avšak byla prováděna dodatečná chlorace k redukci zvyšujícího se počtu kolonií z GAU filtrace. V některých případech následkem nízké úrovně zbytkového desinfekčního činidla v distribuované vodě v první části systému docházelo ke zpomalování opětovného růstu. V některých místech byla povrchová voda upravována pomocí UV lamp. V roce 2005 byla poslední dezinfekce chlorem nahrazena systémem UV lamp, který byl ověřen pro mikrobiologický inaktivační efekt. To mělo za následek zlepšení chutě i vůně vody, došlo ke snížení vedlejších produktů dezinfekce a nevedlo to k problémům s opětovným bakteriálním růstem. Navíc UV inaktivuje širší spektrum patogenů než chemická dezinfekce chlorem a z hlediska mikrobiologické bezpečnosti je voda monitorována a kontrolována. Další zlepšení vodní kvality povrchové vody (kromě prevence vedlejších produktů dezinfekce a chutě a vůně) se soustředilo na produkci biologicky stabilní vody. Filozofií bylo a stále je, že k prevenci růstu v distribuční síti je lepším přístupem „hladovění“ než úprava dezinfekcí. Což znamená, že nebyla žádná potřeba desinfekčního činidla, aby se zabránilo opětovnému růstu. [29]

Také bylo poukázáno na to, že sekundární dezinfekce přispívá k tvorbě THM. Vzhledem ke vztahu mezi THM, rakovinou a mutanogenitou, bylo doporučeno snížit dodatečnou chloraci tak moc jak to bude možné. To znamenalo, že v některých systémech byl reziduální chlor přítomný pouze v přednějších částech systému. Což bylo způsobeno reakcí chloru se sloučeninami vyskytujícími se ve vodě, biofilmem a sedimentem. Následkem bylo, že vzdálenější místa v síti byly bez chloru. [1] Množství dodatečné chlorace v úpravě povrchové vody bylo sníženo do té míry, že v roce 2008 nebyl aplikován žádný chlor. [29]

### ***Zkušenosti a poznatky***

V Amsterdamu provedený experiment ukázal, že po ukončení dávkování chloru, byly THM sníženy z původních  $12 - 22 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$  až pod detekční limit, byla odstraněna mutagenita z vody (Ames - test), nevyskytovaly se žádné koliformní bakterie ani enterokoky. Počty kolonií zůstaly stejně nízké a asimilovatelný organický uhlík (AOC) byl redukován o 40 %. Po tomto experimentu bylo dávkování ukončeno natrvalo. [1]

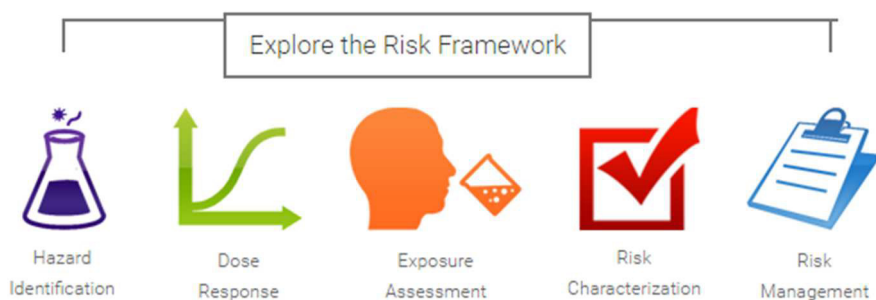
### ***Legislativní požadavky v Nizozemsku***

Členské státy EU musí mít evropskou směrnici pro pitnou vodu ve svých vnitrostátních právních předpisech pro pitnou vodu. Nizozemská legislativa pro pitnou vodu má přísnější požadavky, a to v tom, že nezahrnují výjimku v jakosti vody při dodávce vody méně než  $10 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$ , nebo méně než pro 50 osob. Bylo stanoveno, že pitná voda má splnit stejné požadavky na kvalitu bez ohledu na velikost zásobního systému. Požadavky ohledně monitoringu souvisí s velikostí systému. Nizozemská legislativa nezahrnuje žádné požadavky na primární, nebo sekundární dezinfekci. Mikrobiální požadavky zahrnují: [29]

1. Kvantitativní hodnocení mikrobiálního rizika (QMRA) pro sítě s povrchovou vodou, odhadované riziko infekce musí být **menší než 1 infekce na 10 000 lidí za rok** pro enterické viry, *Cryptosporidium* a *Giardia* a ostatní možné patogeny.
2. *E. coli* and enterokoky 0 KTJ/100 ml
3. *Aeromonas* < 1000 KTJ/100 ml
4. kolonie 22 °C <100 KTJ / ml
5. *Koliformy* a *Clostridium perfringens* 0 KTJ / 100ml

Legislativa vody přijala QMRA jako hlavní přístup k ukázce mikrobiální bezpečnosti zásobovacího systému. Vodárny musí monitorovat přítomnost patogenů (*Campylobacter*, *Cryptosporidium*, *Giardia*, kultivovatelných enterovirů) ve zdroji vody. A musí ukázat adekvátní úpravárenský proces k odstranění těchto patogenů při produkci pitné vody. [1]

**QMRA**-Kvantitativní posouzení mikrobiálního rizika používá nejlepší měření ohledně chování mikroorganismů. Zjišťuje, kde se mohou stát nebezpečnými, a odhaduje riziko (včetně nejistoty odhadu rizika), které představují pro lidské zdraví. Mikroorganismy se liší ve svých fyzikálních vlastnostech, pohybu v životním prostředí a procesu (postupu) infekce. [33]



**Obr. 2.2** Oblasti prozkoumání při QMRA [33]

**Hazard Identification (identifikace nebezpečí):** Popis mikroorganismů a onemocnění, která způsobuje, včetně symptomů, závažnosti, a úmrtnosti. Identifikace citlivosti populace, která je zvláště náchylná na infekci. [33]

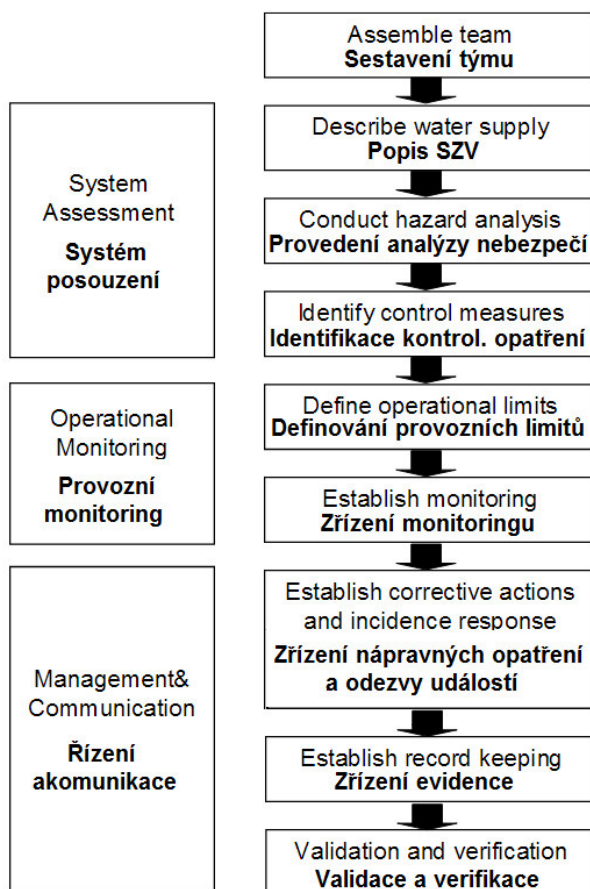
**Dose response (reakce na dávku):** Vztah mezi dávkou (počtem mikroorganismů) a účinkem na zdraví. Pro předpověď reakce na dávku byly sestaveny matematické modely, pro které byly použity data ze studií provedených na lidech a zvířatech. [33]

**Exposure assessment (posouzení expozice):** Popis možných cest, kudy mohou mikroorganismy napadnout člověka a zapříčinit infekci (vzduchem, prostřednictvím pitné vody, hmatem atd.). Určení velikosti a trvání. [33]

**Risk characterization (charakteristika rizika):** Spojení kroků (1,2,3) do jediného matematického modelu pro výpočet rizika – pravděpodobnosti výsledků infekce, nemoci nebo smrti. Vzhledem k tomu, v krocích 1,2, a 3 nebude poskytnuta jediná hodnota, ale rozsah hodnot pro dobu vystavení, dávky a nebezpečí. Riziko se musí vypočítat napříč těmito rozsahy. Tento jev se nazývá Monte Carlo analýza a výsledkem je celá řada možných rizik, včetně průměrného a nejhoršího scénáře. [33]

Realizace uzákonění QMRA má upozornit na mikrobiologickou bezpečnost pitné vody. To vede k intenzivnějšímu monitorování vodního systému a k výzkumu účinnosti úpravy vody a zásobování vodou. WHO (The world health organization) propaguje WSP (water safety

plan) jako možnou cestu k bezpečnému provozování pitné vody. Na *obr. 2.3* níže, je zobrazen přístup k bezpečnému systému zásobování pitnou vodou. Tento rámec je použit k popisu nizozemského přístupu k zabezpečení pitné vody. [29]



**Obr. 2.3** Rámec WHO 2004

### ***Zkušenost a poznatky***

Například v Amsterdamu roku 1983 započali experiment se snižováním dávky chloru a sledovali, co se děje s kvalitou vody v síti. Ukázalo se, že když se koncentrace chloru blížila k nule, mutagenita vody zmizela, celkové THM byly redukovány z  $12\text{--}22 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  na nedetekovatelný limit, nevyskytovaly se koliformní bakterie ani enterokoky (před ani po zastavení chlorace), kolonie bakterií zůstaly stejně nízké, jak byly ( $2\text{--}5 \text{ KTJ}\cdot\text{ml}^{-1}$ ), a obsah AOC byl snížen o 40 %. Takže chlorování bylo zastaveno natrvalo (ale bylo nachystáno v pohotovosti pro nouzovou dezinfekci). Podobný vývoj lze pozorovat u ostatních úpravěn vod s povrchovým zdrojem. I když koncentrace vedlejších produktů byly pod úrovní rizika vzniku rakoviny ( $10^{-6}$ ), vodárny upouštěly od dodatečné chlorace. Od roku 1980 byla v Nizozemsku dezinfekce chlorem nahrazována ozonem, membránovou filtrací a UV zářiči, jako hlavní bariérou proti patogenům. Od roku 2006 není v Nizozemsku používán chlor při úpravě vody ani při její distribuci. [1]

V roce 2000 byl v Nizozemsku a ve Spojeném království vyhodnocen projekt s poznatky zásobovacího systému s nebo bez zbytkového desinfekčního činidla. Obě země vykazují vysoké dodržení mikrobiálních standardů a uznávají, že dobrá technická praxe je hlavním faktorem při ochraně systému proti vniknutí nečistot. Používání chloru, jako reziduální dezinfekce, se zdá být levným způsobem, jak snížit opětovný růst. Na druhou stranu může

dojít ke zvyšování vedlejších produktů dezinfekce a může docházet ke stížnostem na chuť a vůni vody ze strany odběratelů. Studie uvádí, že zbytkový chlor může poskytnout alespoň určitou ochranu proti fekálnímu znečištění sítě. V posledních deseti letech se v Severní Americe a v Evropě vyskytly obavy ze znečištění skrz „cross connection“ (zpětné nasátí), kolísání tlaku, a při údržbě sítě. V Nizozemsku byl výzkumný projekt zaměřený na vyhodnocení důkazů, že distribuce bez desinfekčních reziduí poskytuje dostatečnou ochranu proti vniknutí patogenů. [1]

V Nizozemsku je monitoring *E. coli* měřítkem kvality vody. Ze zákonného monitorování vyplývá, že voda v Nizozemsku má vysokou shodu s vodními standardy. V průměru byl jeden případ náhodného nedodržení standardů v roce 2008 na každých 333 mil. m<sup>3</sup> dodávané vod. To je důkazem, že voda bez desinfekčního rezidua může být dodávána spotřebiteli bez kontaminačních problémů. [1]

### 2.4.5 Dánsko

Dánský způsob zásobování pitnou vodou je založen výhradně na podzemní vodě a oficiální postoj vlády je, že pitná voda by měla být založena na čistě podzemní vodě, které jen potřebují jednoduchou úpravu provzdušňováním, úpravu pH a filtraci před tím, než je distribuována ke spotřebiteli. Jakost podzemní vody v Dánsku je obecně dobrá, proto není nutná složitá a nákladná úprava vody. S výjimkou Kodaně. Pitná voda není chlorovaná a jakost vody z vodovodu je ještě lepší než vody balené. Od roku 1997 do roku 2006 byla ztráta vody z rozvodných sítí snížena z 9 % na 6 %. Rozbory vody jsou v 97,2 % v souladu s normou pro pitnou vodu. Tím, že ztráty nižší než 10 % jsou osvobozeny od daně, jsou provozovatelé státem vedeni ke snižování ztrát vody. [41]

### 2.4.6 Závěr a shrnutí

Země EU nemají žádný právní požadavek na zachování zbytkového desinfekčního činidla. Povinnosti provozovatele je pouze zajistit, aby voda splňovala mikrobiologické standardy (s i bez desinfekčního rezidua). Státy, které nepoužívají desinfekční činidlo na bázi chloru pro dezinfekci vody ani při distribuci vody, se zaměřují na produkci biologicky stabilní vody, pečlivou ochranu zdroje vody a dobrý technický stav sítě, který zamezí kontaminaci během distribuce vody. Kladou důraz na proškolení personálu a pohled na pitnou vodu jako na potravinu, která se musí chránit před znečištěním. Upuštěním od chlorování vody je dosaženo zlepšení chutě a vůně vody, a zamezeno tvorbě zdraví nebezpečných vedlejších produktů dezinfekce.

### 3 VLIV DEZINFEKCE V SYSTÉMU ZÁSOBOVÁNÍ PITNOU VODOU

Aby bylo možné uvažovat o zásobování pitné vody bez desinfekčního činidla, je nutné, aby byly nastudovány jeho vlastnosti, a bylo poznáno jaký vliv a účinek má v pitné vodě. Jelikož je chlor nejčastěji využívaným desinfekčním činidlem, je tato kapitola věnována chloru a jeho sloučeninám. Chlor je využíván jak k primární dezinfekci, tak k dodatečnému dochlorování pro udržení zbytkové koncentrace chloru v pitné vodě. Kapitola je zaměřena na účinnost chloru (i zbytkového) na bakterie vyskytující se v pitné vodě, zejména na indikátorové bakterie. Za účelem bližšího poznání mikrobiologie pitné vody, byla v této kapitole zařazena podkapitola věnována právě bakteriím vyskytujícím se v pitné vodě.

#### 3.1 DEZINFEKCE PITNÉ VODY

Jedním z největších úspěchů v oblasti veřejného zdraví ve 20. století bylo odstranění většiny epidemií šířených vodou v rozvinutých zemích. Nejdříve byl v roce 1902 chlor přidán do vody jako desinfekční prostředek v Belgii. Dalšími místy byly Spojené státy a Velká Británie, což vedlo ke snížení výskytu nemocí přenášovaných vodou. Dalším mezníkem v historii chloru byl rok 1974, kdy nizozemští vědci objevili přítomnost chloroformu (vedlejší produkt dezinfekce), jakožto pravděpodobného lidského karcinogenu, v pitné vodě. [42]

Cílem dezinfekce je zabití nebo inaktivace patogenních (bakterie, viry a prvoci) a nespecifikovaných (nepatogenních) mikroorganismů. Patogeny jsou původci nemoci, jedná se o choroboplodné zárodky a mohou být šířeny vodou. Na jedné straně jsou patogeny šířené fekálně orální cestou, jako jsou bakteriální patogeny cholery, tyfu a salmonelózy, virové patogeny žloutenky a obrny a parazitické patogeny způsobující průjem jako jsou *amoeba*, *cryptosporidie* a *giardia*. Na druhou stranu jsou zde všude přítomné oportunní patogeny, jako jsou *Pseudomonas aeruginosa* a *Legionella*. Patogeny šířené fekálně orální cestou se nemohou v pitné vodě rozmnožovat (výjimkou jsou *Yersinia enterocolitica* a *Campylobacter jejuni*), ale v přírodě mohou přežívat několik měsíců. Na rozdíl od fakultativních patogenů, které v přírodě existují v nízkých koncentracích, které se mohou v pitné vodě za určitých podmínek rozmnožovat až do koncentrací způsobujících infekci. Pitná voda nesmí obsahovat žádné patogeny v koncentraci vzbuzující obavy z ohrožení lidského zdraví. [44]

##### 3.1.1 Předpoklady pro spolehlivou dezinfekci

V zásadě efektivní usmrcení, nebo inaktivace mikroorganismů je možná pouze v případě, když desinfekční činidlo může působit na mikroorganismus přímo. Nicméně patogeny, které jsou vyloučeny s fekáliemi nemocných, jsou shluknuty v celky a hleny (sliz, hrudky). To chrání patogeny před napadením přírodními vlivy, speciálně před vysušením. Tímto způsobem jsou schopné se po dlouhou dobu šířit do pitné vody. Slizovitá substance také chrání patogeny před účinkem dezinfekce. Pouze ty patogeny umístěné na povrchu agregátu mohou být napadeny. Patogeny uvnitř agregátů zůstanou nedotčeny a mohou zapříčinit infekci. Dokonce zvýšením koncentrace desinfekčního činidla, nebo prodloužením doby působení nebude dosaženo usmrcení patogenů v požadované spolehlivosti. Naproti tomu toto omezení nevykazuje převažení. Patogeny, které byly ochráněny před chemickou nebo UV dezinfekcí uvnitř agregátů, jsou spolehlivě usmrceny termální dezinfekcí (vařením). [44]



### 3.1.2 Dezinfekční a oxidační prostředky na bázi chloru

K hygienickému zabezpečení a k dezinfekci vody se nejvíce využívá chlorování. Chlor ve vodě má chlorační i oxidační účinky. Chlorační účinek má zejména molekulový chlor. Kyselina chlorná a chlornany, které převažují v alkalickém prostředí, mají především účinky oxidační. [4] Oxidačním účinkem je myšlena oxidace anorganických, nebo organických sloučenin (zvyšování jejich oxidačního čísla), chloračním účinkem je myšleno vázání chloru především v organické sloučenině, aniž by tuto sloučeninu rozložil. (např. vznik chlorfenolů a vedlejších produktů dezinfekce jako jsou THM). Dále má chlor účinek dezinfekční, čímž je myšleno usmrcení nebo inaktivace choroboplodných zárodků. [61]

#### ***Chlor -Cl<sub>2</sub>***

Kapalný chlor je čirá, jantarově zbarvená kapalina. Plynný chlor je žlutozelený plyn, 2,5x těžší než vzduch, má dusivý zápach. Využívá se k oxidaci a dezinfekci, nebo k odstranění amonných sloučenin. [15]

#### ***Chlornan vápenatý – Ca(ClO)<sub>2</sub>***

Vyžívá se v podobně bílých granulí nebo tablet pro oxidaci a dezinfekci, nebo k odstranění amonných sloučenin. [15]

#### ***Chlornan sodný – NaClO***

Žlutozelený čirý roztok se slabým zápachem po chloru, dobře mísitelný s vodou, reaguje s kyselinami a solemi kyselin za tvorby chloru. Využívá se k oxidaci a dezinfekci, nebo k odstranění amonných sloučenin. [15] Použití u menších zdrojů, nenáročný na obsluhu, má menší účinnost než plynný chlor, proto potřebuje delší dobu kontaktu s vodou.

#### ***Chloritan sodný – NaClO<sub>2</sub>***

Žlutozelený vodný roztok, silné oxidační činidlo. Využívá se k oxidaci, k výrobě oxidu chloričitého působením chloru nebo kyseliny chlorovodíkové. [15]

#### ***Oxid chloričitý – ClO<sub>2</sub>***

Má silné oxidační i dezinfekční účinky, je několikanásobně účinnější než plynný chlor. Dezinfekční účinek je nezávislý na pH. Je vysoce efektivní biocid proti bakteriím a virům. Má především oxidační účinek, proto netvoří vedlejší produkty dezinfekce. K nevýhodám patří jeho explozivnost, nemůže být převážen, a proto musí být připravován na místě. Jsou možné toxikologické účinky oxidu chloričitého a jeho vedlejších produktů, zejména chloritanu a chlorečnanu. [4,6]

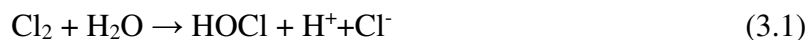
#### ***Chloraminy – NH<sub>x</sub>Cl<sub>y</sub>***

Chloraminy jsou považovány za vhodné pro dodatečnou chloraci. Nejpožadovanější z chloraminů je monochloramin (NH<sub>2</sub>Cl), má minimálně výraznou chuť a zápach. Pro primární dezinfekci se moc nehodí, protože pro inaktivaci mikroorganismů potřebuje delší čas než chlor. Chloraminy jsou označovány jako chemicky vázaný chlor. [6]

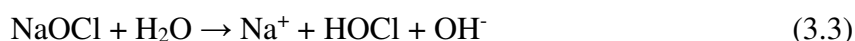
### 3.1.3 Vlastnosti chloru

Chlor zabíjí buňky tak, že napadá jejich buněčné stěny. Kyselina chlorná (HClO) vstoupí do buněčné stěny s vodou a naruší enzymy v buněčné stěně. Při práci s chlorem potřebujeme hodnotící kritérium pro sílu účinku chloru na mikroorganismy. Obvykle se používá Ct faktor viz kapitola 3.1.4 Ct faktor. [5]

Plynný chlor ve vodě rychle hydrolyzuje v kyselinu chlornou



Vodné roztoky chlornanu vápenatého nebo chlornanu sodného hydrolyzují následovně:

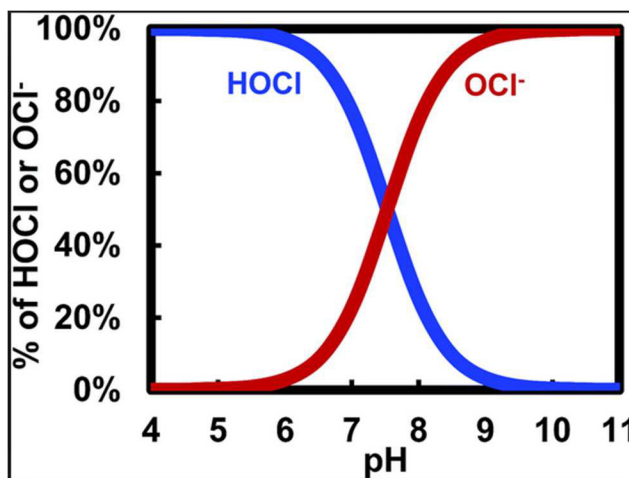


Chemické sloučeniny kyselina chlorná (HClO a  $\text{OCl}^-$ ) se běžně označují jako volný chlor.

Kyselina chlorná HClO je slabá kyselina a dále disociuje:

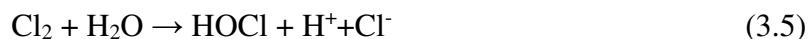


Ve vodách s pH v rozmezí 6,5–8,5 se vyskytují jak kyselina chlorná, tak chlornanové ionty. Přičemž kyselina chlorná (HClO) má cca 20x větší germicidní účinky. [5] Na následujícím obrázku 3.1 je zobrazen distribuční diagram zobrazující zastoupení chlornanových iontů a kyseliny chlorné ve vodě v závislosti na pH. Rovnováha nastává v pH 7,5 a nejlepší dezinfekce probíhá v rozmezí pH 6-7.



Obr. 3.1 Distribuční diagram [65]

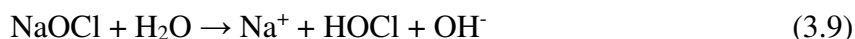
#### Reakce plynného chloru s vodou:



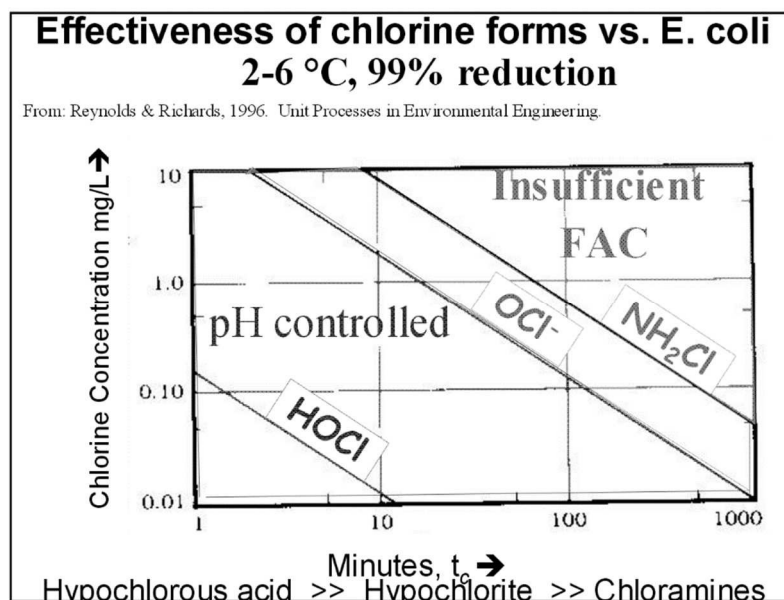
Přičemž vzniklé ionty  $\text{H}^+$  snižují pH vody.

#### Reakce chlornanů s vodou:





NaOH je používán jako stabilizující prvek. Při reakci s vodou dojde díky iontům  $\text{OH}^-$  ke zvyšování pH. Čím je pH nižší, tím proběhne lepší dezinfekce, neboť převládají sloučeniny kyseliny chlorné ( $\text{HClO}$ ).



**Obr. 3.2** Efektivita kyseliny chlorné, chlornanu a dichloraminu vs. bakterie *E. coli* [5]

Z obrázku 3.2 vyplývá, že kyselina chlorná potřebuje méně času a menší hodnotu koncentrace k redukci bakterie *E. coli* o 2 log řády než chlornanové ionty a chloramin.

### 3.1.4 CT Faktor

Abychom mohli hodnotit míru smrtícího účinku chloru, je zapotřebí mít hodnotící kritérium, běžně se používá Ct faktor.

Účinnost desinfekčního činidla se vyjadřuje rovnicí dle zákona Watsona H.E. [6]

$$k = C^N \cdot t$$

kde:  $t$ ...čas kontaktu [min]

$C$ ...koncentrace desinfekčního činidla [ $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ]

$N$ ...koeficient zředění [-]

$k$ ...spec. koeficient vyjadřující druh mikroorganismů a podmínky

Hodnoty součinů  $Ct$  představují standardní cestu vyhodnocení relativní desinfekční účinnosti různých desinfekčních činidel. Inaktivační hladina (výsledek) je uváděna jako procentuální redukce (99 %, 99,9 %, 99,99 % ...), nebo jako redukce log. Redukce log 1 odpovídá 90% redukci, log 2 = 99 %, log 3 = 99,9 % atd.

Veličina  $Ct$  je základní charakteristika dezinfekce, která definuje účinnost dané látky při určité koncentraci  $C$  a době působení  $t$  za definovaných podmínek teploty a hodnoty pH. Příklad [Chlor-viry- $Ct_{99}$  8 mg·l<sup>-1</sup> při 10 °C a pH 7 až 7,5] → aby při dezinfekci vody bylo odstraněno 99 % virů, musí chlor působit v koncentraci 8 mg·l<sup>-1</sup> po dobu jedné minuty při teplotě vody 10 °C a hodnotě pH 7 až 7,5. [3]

Na následujících obrázcích jsou uvedeny hodnoty CT faktoru pro plynný chlor, chloramin a oxid chloričitý.

<b>Chlor</b>	bakterie	$Ct_{99}$ : 0,08 mg·min/l při teplotě 1–2 °C a pH 7; 3,3 mg·min/l při 1–2 °C a pH 8,5
	viry	$Ct_{99}$ : 12 mg·min/l při 0–5 °C; 8 mg·min/l při 10 °C; oboje při pH 7 až 7,5
	prvoci	<i>Giardia</i> $Ct_{99}$ : 230 mg·min/l při 0,5 °C; 100 mg·min/l při 10 °C; 41 mg·min/l při 25 °C; všechno při pH 7 až 7,5 <i>Cryptosporidium</i> neúčinkuje

**Obr. 3.3** Dezinfekční účinnost molekulárního chloru [3]

<b>Chloramin</b>	bakterie	$Ct_{99}$ : 94 mg·min/l při 1–2 °C a pH 7; 278 mg·min/l při 1–2 °C a pH 8,5
	viry	$Ct_{99}$ : 1240 mg·min/l při 1 °C; 430 mg·min/l při 15 °C; oboje při pH 6–9
	prvoci	<i>Giardia</i> $Ct_{99}$ : 2550 mg·min/l při 1 °C; 1000 mg·min/l při 15 °C; oboje při pH 6–9; <i>Cryptosporidium</i> neúčinkuje

**Obr. 3.4** Dezinfekční účinnost chloraminu [3]

Oxid chloričitý	bakterie	Ct <sub>99</sub> : 0,13 mg·min/l při 1–2 °C a pH 7; 0,19 mg·min/l při 1–2 °C a pH 8,5
	virý	Ct <sub>99</sub> : 8,4 mg·min/l při 1 °C; 2,8 mg·min/l při 15 °C; oboje při pH 6–9
	prvoci	<i>Giardia</i> Ct <sub>99</sub> : 42 mg·min/l při 1 °C; 15 mg·min/l při 10 °C; 7,3 mg·min/l při 25 °C; všechno při pH 6–9; <i>Cryptosporidium</i> Ct <sub>99</sub> : 40 mg·min/l při 22 °C a pH 8

**Obr. 3.5** Dezinfekční účinnost oxidu chloričitého [3]

Jiný zdroj uvádí následující hodnoty: [6]

**Tabulka 3.1** Hodnoty mikrobiální inaktivace pro log 2 při 5 °C pro pH ∈ (6, 9)

Dezinfekční činidlo	Bakterie <i>E.coli</i>	Poliovirus	Cysty <i>Giardia</i> m.
Volný chlor [mg·l <sup>-1</sup> ]	0,034 – 0,05	1,1 – 2,5	30 - 360
Chloramin [mg·l <sup>-1</sup> ]	95 - 180	768 - 3740	1400

Jiný zdroj uvádí dobu inaktivace působení chloru o koncentraci 1,0 mg·l<sup>-1</sup>

**Tabulka 3.2** Doba působení volného chloru o koncentraci 1,0 mg·l<sup>-1</sup>, pH = 7,5 a teplota t = 25 °C [8]

	<i>E. coli</i>	Hepatitis A virus	<i>Giardia</i>	<i>Cryptosporidium</i>
T [min]	< 1	16	45	9 600

## Chlorine vs. Viruses, Giardia, "Crypto"

Summary of C.t values (mg/L. min) for 99% inactivation (2 log) at 5°C (Clark et al, 1993)

Organism	Disinfectant			
	Free chlorine, pH 6 to 7	Pre-formed chloramine, pH 8 to 9	Chlorine dioxide, pH 6 to 7	Ozone pH 6 to 7
<i>E. coli</i>	0.034-0.05	95-180	0.4-0.75	0.02
Polio virus 1	1.1-2.5	768-3740	0.2-6.7	0.1-0.2
Rotavirus	0.01-0.05	3806-6476	0.2-2.1	0.006-0.06
Bacteriophage f <sub>2</sub>	0.08-0.18	-	-	-
<i>G. lamblia</i> cysts	47->150	-	-	0.5-0.6
<i>G. muris</i> cysts	30-630	-	7.2-18.5	1.8-2.0 <sup>a</sup>
<i>C. parvum</i>	7200 <sup>b</sup>	7200 <sup>c</sup>	78 <sup>b</sup>	5-10 <sup>c</sup>

a Values for 99.9% inactivation at pH 6-9.

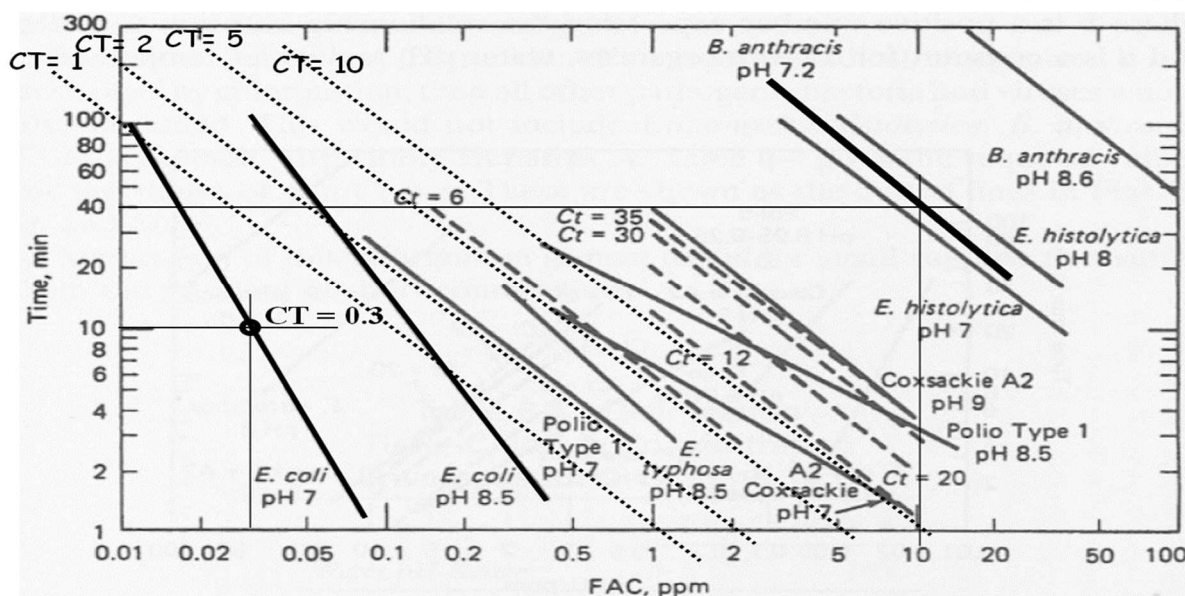
b 99% inactivation at pH 7 and 25°C.

c 90% inactivation at pH 7 and 25°C

Obr. 3.6 Tabulka CT faktorů

V grafu níže jsou zobrazeny Ct křivky. FAC-volný aktivní chlor, ppm=mg·l<sup>-1</sup>,

## Chlorine effectiveness at 0-5° C (3 log)



Reprinted from *Journal American Water Works Association* 54, 1379, Nov.1962,

Obr. 3.7 Efektivita chloru pozn: FAC, ppm (free available chlorine, part per milion) [5]

Z grafu lze vyčíst při jaké koncentraci a za jakou dobu působení se jednotlivé druhy bakterií, zredukují o 3 log řády níže. Například bakterie *E. Coli* při pH 7 je zredukována o 3 log řády níž pokud na ni působí cca 0,085 mg·l<sup>-1</sup> chloru po dobu alespoň 1,5 minuty. Pokud by koncentrace chloru byla nižší například 0,035 mg·l<sup>-1</sup> musel by chlor při této koncentraci působit alespoň po dobu 10 minut. Aby byl zredukována o 3 log řád níže *Bacillus Anthracis*, musela by být koncentrace chloru aspoň 10 mg·l<sup>-1</sup> po dobu 40 minut, při pH 7.

## 3.2 VLIV CHLORU NA VÝSKYT BAKTERIÍ V POTRUBÍ

Mezi možné bakterie, které mohou způsobit příčinu nemocí z pitné vody, patří: *Vibrio cholerae*, *Salmonella enterica typhi*, *Salmonella typhimurium*, *Escherichia coli*, *Viry hepatitidy A*, *E a F*. [3] Obsahuje-li voda v síti určitou koncentraci zbytkového dezinfekčního prostředku, ten při kontaminaci rozvodů z vnějšího prostředí reaguje s organickým znečištěním a mikroorganismy. Další jeho spotřeba jde na úkor reakce s biofilmy, materiály rozvodů eventuálně i sedimenty v síti. U železitých materiálů jde hlavní spotřeba na úkor koroze. [8]

### 3.2.1 Bakterie ve vodě

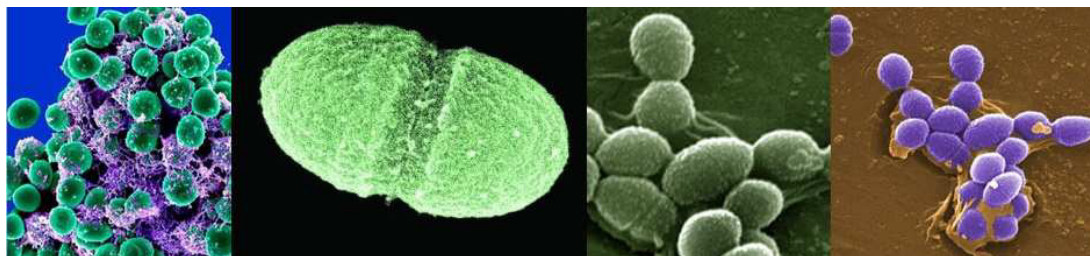
Běžné postupy používané k zjišťování bakterií z vodního prostředí jsou založeny na kultivačních metodách. Kultivačních metod je využíváno zejména u rozborů pitné vody. Při rozboru pitné vody není možné stanovovat všechny přítomné bakterie, proto bylo zavedeno stanovení indikátorových bakterií, jejichž výskyt popisuje mikrobiologickou kvalitu vody. Indikátorové bakterie se rozlišují na: [52]

1. **Indikátory organického (obecného) znečištění:** z hygienického hlediska se jedná o skupinu méně významnou, jedná se o mikroorganismy autochtonní (vyskytující se přirozeně, původně). Nejčastěji se jedná o zástupce rodu *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Flavobacterium*, enterobakterie. Dle české legislativy jsou do této skupiny zařazeny: [52]
  - Psychofilní bakterie: Organotrofní bakterie s růstovým optimem okolo 20 °C, vytvářejí kolonie po 72 hod. Stanovení těchto bakterií bylo v ČR standardně vyžadováno pro pitnou vodu do roku 2004, v současné době není českou legislativou jejich stanovení vyžadováno. [52]
  - Mezofilní bakterie: Organotrofní bakterie, které mají optimální růst při 37 °C, vytvářejí kolonie po 48 hod. Stanovení těchto bakterií bylo v ČR standardně vyžadováno pro pitnou vodu do roku 2004, v současné době není českou legislativou jejich stanovení vyžadováno. [52]
  - Kultivovatelné mikroorganismy (stanovované při 22 °C a 26 °C): Do této skupiny se řadí bakterie, kvasinky a plísňe, které se množí nejlépe při teplotě 22±2 °C a 36±2 °C. Kolonie tvoří po 72 a 48 hodinách. Jejich stanovení je vyžadováno u pitné vody vyhláškou č. 252/2004 Sb. [52]
2. **Indikátory fekálního znečištění:** Organismy používané jako indikátory fekálního znečištění by měly splňovat následující požadavky: být nepatogenní, být přítomny ve vysokém počtu v exkrementech teplokrevných živočichů, nemnožit se ve vodě, být snadno stanovitelné, přetrvávat ve vodě minimálně stejně dlouhou dobu jako patogeny a být rezistentní k desinfekčním činidlům a vlivům okolního prostředí podobně jako



střevní patogeny. Indikátory fekálního znečištění, i přestože nesplňují výše zmíněná kritéria, jsou *E. coli*, koliformní bakterie a intestinální enterokoky (fekální streptokoky). Indikátor *Clostridium perfringens* se stanovuje pouze u úpravy vod povrchových nebo u podzemních vod ovlivněných vodou povrchovou dle vyhlášky č. 252/2004 Sb. [52]

- **Koliformní bakterie:** za aerobních podmínek tvoří kolonie při  $36 \pm 2$  °C. Netvoří spory. Koliformní bakterie zařazujeme do čeledi *Enterobacteriaceae*. Tato čeleď zahrnuje gram negativní, nesporující, fakultativně anaerobní, oxidativně-negativní, katalázno-pozitivní paličkovité bakterie. Dělí se podle hostitele, biochemických vlastností a odlišné antigenní struktury na skupiny, rody, druhy a sérovary. Čeleď *Enterobacteriaceae* obsahuje obligátní patogenní rody například *Salmonella*, *Shigella*, *Yersinia*. Řada příslušníků čeledi *Enterobacteriaceae* se nachází také v půdě, ve vodě, nebo na rostlinách, odkud se dají izolovat (*Klebsiella*, *Serratia*, *Proteus*, *Enterobacter*, *Escherichia*, *Yersinia*). Jako původci alimentárních toxických infekcí přicházejí v úvahu některé druhy a sérovary *Salmonella*, *Sigella*, *Yersinia enterocolitica* a enteropatogenní již zmíněná *Escherichia coli*. Ve vodě přežívají pouze krátce (2-4 dny). [50] Skupina koliformních bakterií obsahuje jak druhy fekální, tak environmentální (*Serratia fonticola*, *Rahnella aquatilis*, *Buttiauxella agrestis* apod.), což poněkud zpochybňuje její použití jako indikátoru fekálního znečištění. [52] Rozmnožování koliformních bakterií ve vodě bylo zjištěno na počátku 20. století. Byl zjištěn růst mikroorganismů v sedimentech v distribuční soustavě. [1]
- **Intestinální enterokoky:** jedná se o fakultativně anaerobní koky, jsou odolnější vůči vysušení a dezinfekci, ale ve vodách jsou citlivější vůči okolním vlivům prostředí než koliformní bakterie a málokdy se pomnožují. Využívají se k indikaci čerstvého fekálního znečištění a k indikaci nedostatečné dezinfekce. [52]



**Obr. 3.8** *Enterococcus faecalis* [73]

- ***Clostridium perfringens*:** jedná se o anaerobní, sporulující a běžně se vyskytující bakterie v trávicím traktu teplokrevných zvířat. Kvůli extrémně dlouhému přežívání spor v prostředí, které je výrazně delší než přežívání střevních patogenů, se od rutinního stanovení ve vodách upouští. Průkaz klostridií bývá považován za indikaci možného výskytu parazitických prvoků a střevních virů. Stanovují se na základě požadavků vyhlášek pro pitnou vodu. [52]



**Obr. 3.9** *Clostridium perfringens* [64]



Dále je uveden výčet hygienicky významných bakterií.

- Enterobacteriaceae (patogenní bakterie pocházející z trávicího traktu člověka a teplokrevných živočichů) [52]
  - *Salmonella*, *Shigela*, patogenní sérovary *E. coli* aj. [52]
- Gramnegativní nefermentující bakterie (běžně se nalézají ve vodním prostředí, ale mohou se chovat jako potenciální patogeny, zejména u osob s oslabenou imunitou [52])
  - *Pseudomonas*, *Legionella* [52]
- Skupina grampozitivních koků
  - *Staphylococcus aureus* [52]
- Skupina potenciálně patogenních atypických mykobakterií
  - *M. intracellulare*, *M. xenopi* v pitné vodě je spojena s výskytem biofilmu [52]
  - *M. avium* v pitné vodě se vyskytuje v přítomnosti snadno rozložitelných organických uhlíkatých látek [52]

### 3.2.2 Výběr hlavních patogenů šířených vodou

*Vibrio cholerae* je bakterie způsobující choleru, životu nebezpečné onemocnění, které se projevuje těžkými vodnatými až krvavými průjmy. [3]



Zdravotní riziko: vysoké  
Přežívání ve vodě: do 1 týdne  
Rezistence vůči chloru: nízká  
Míra nakažlivosti: nízká  
Živočišný zdroj: ano  
Relevance v ČR: střední

Obr. 3.10 *Vibrio cholerae* [74]

*Salmonella enterica typhi* je bakterie způsobující **břišní tyfus**, který se projevuje horečkami, bolestí břicha a hlavy, nevolnostmi, průjmy vedoucími k vážné a život ohrožující dehydrataci. [3]

**Jiné salmonely** způsobují akutní průjmovitá onemocnění s krátkou inkubační dobou. [3]



Zdravotní riziko: vysoké  
Přežívání ve vodě: **mohou se rozmnožovat,**  
(*Salmonella enterica typhi* 1 týden až 1 měsíc)  
Rezistence vůči chloru: nízká  
Míra nakažlivosti: nízká  
Živočišný zdroj: ano (*Salmonella enterica typhi* ne)  
Relevance v ČR: vysoká

Obr. 3.11 *Salmonella* [73]

***Escherichia coli*** žije ve střevech lidí a zvířat, ve většině případů neškodná. Nebezpečné jsou pouze patogenní kmeny, například *E. coli* O157:H7 způsobující krvavé průjmy, může se vyvinout i hemolyticko-uremický syndrom, který bývá často smrtelný. [3]



Zdravotní riziko: vysoké

Přežívání ve vodě: 1 týden až 1 měsíc

Rezistence vůči chloru: nízká

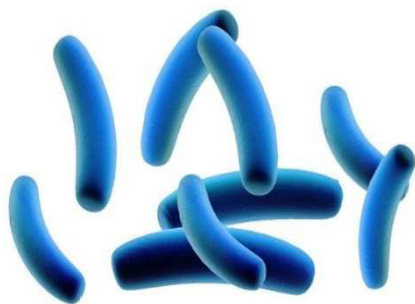
Míra nakažlivosti: nízká (pro kmen nesoucí tělový antigen O157 vysoká)

Živočišný zdroj: ano

Relevance v ČR: vysoká

**Obr. 3.12** *Escherichia coli* [73]

***Legionella*** bakterie způsobující nemoc legionelózu. Může se projevit těžkým zápal plic, nebo jen mírnějším horečnatým onemocněním. Vyskytuje se běžně ve vodách, ale v teplé vodě nebo klimatizační jednotce se může pomnožit do velmi vysokých počtů. Cesta přenosu je především inhalační (spočívá ve vdechnutí infekčního aerosolu například při sprchování, vířivých koupelích, nebo v klimatizovaných prostorách). [3]



Zdravotní riziko: vysoké

Patogen: **oportunní**

Přežívání ve vodě: **rozmnožují se**

Rezistence vůči chloru: nízká

Míra nakažlivosti: střední

Živočišný zdroj: ne

Relevance v ČR: vysoká

**Obr. 3.13** *Legionella* [63]

***Pseudomonas aeruginosa*** Bakterie způsobující široké spektrum infekcí. Může způsobit zápal plic a onemocnění močových cest. Močové infekce, způsobené *P. aeruginosa*, jsou nejčastěji spojeny s použitím dlouhodobě zavedeného močového katétru. Může přenášet kontaminovanými předměty, potravinami, mohou snadno infikovat zdroje užitkové, nebo pitné vody [66]



Zdravotní riziko: střední

Patogen: **oportunní**

Přežívání ve vodě: **mohou se rozmnožovat**

Rezistence vůči chloru: mírná

Míra nakažlivosti: nízká

Živočišný zdroj: ne

Relevance v ČR: vysoká

**Obr. 3.14** *Pseudomonas aeruginosa* [76]

**Netuberkulózní mykobakteria** většina je pro člověka nepatogenní, některé druhy však mohou vyvolat plicní i mimoplicní onemocnění. Projevy onemocnění jsou podobné jako u tuberkulózy. Bakterie jsou všudypřítomné, ve vodních zdrojích, vodovodních rozvodech, půdě, prachu atd. Onemocnění jimi vyvolané není pro okolí nakažlivé. [75]

Zdravotní riziko: nízké

Patogen: **oportunní**

Přežívání ve vodě: **rozmnožují se**

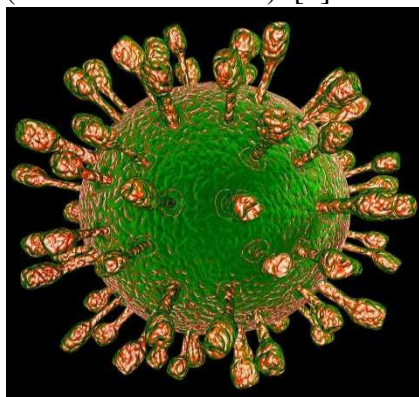
Rezistence vůči chloru: střední (původce nemusí být úplně odstraněn)

Míra nakažlivosti: nízká

Živočišný zdroj: ne

Relevance v ČR: vysoká

**Rotaviry** jsou hlavní virovou příčinou těžkých horečnatých průjmů u kojenců a malých dětí. Přenos pitnou vodou je možný, ale neví se, jak je častý. Způsob přenosu je osobní kontakt (fekálně-orální cesta). [3]



Zdravotní riziko: vysoké

Přežívání ve vodě: více než 1 měsíc

Rezistence vůči chloru: střední (původce nemusí být úplně odstraněn)

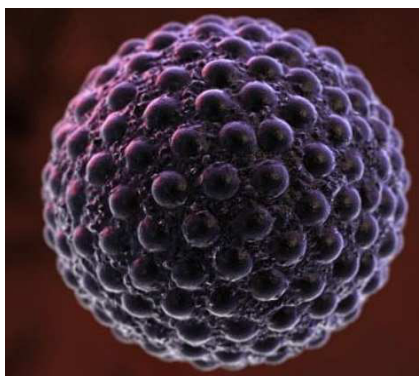
Míra nakažlivosti: vysoká

Živočišný zdroj: ne

Relevance v ČR: střední

**Obr. 3.15** Rotavirus [77]

**Viry hepatitidy A, E** viry způsobující zánětlivé onemocnění jater. Jsou přenášeny fekálně-orální cestou. [3]



Zdravotní riziko: vysoké

Přežívání ve vodě: více než 1 měsíc

Rezistence vůči chloru: střední (původce nemusí být úplně odstraněn)

Míra nakažlivosti: vysoká

Živočišný zdroj: ne (pro vir hepatitidy E – potenciální)

Relevance v ČR: vysoká

**Obr. 3.16** Vir hepatitidy A [78]

**Cryptosporidium** je prvok, jehož odolné vývojové stádium (oocysta) se často vyskytuje v povrchových vodách. Oocysta je vůči dezinfekci zcela rezistentní, odstranění je možné funkční filtrací. Způsobuje průjemovitá onemocnění. Ve Velké Británii a v USA je v dnešní době nejčastější příčinou epidemií z vody jak pitné, tak rekreační. [3]

Zdravotní riziko: vysoké



Přežívání ve vodě: více než 1 měsíc

Rezistence vůči chloru: vysoké (dezinfekce je neúčinná)

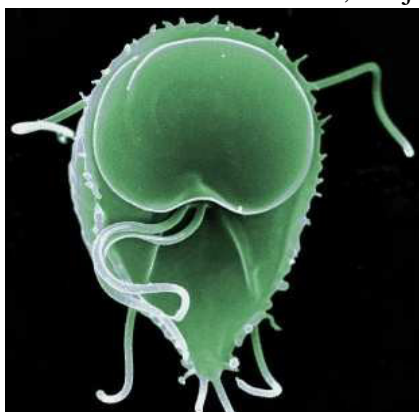
Míra nakažlivosti: vysoká

Živočišný zdroj: ano

Relevance v ČR: střední

**Obr. 3.17** *Cryptosporidium* [80]

*Giardia intestinalis* je prvok, způsobující průjemová onemocnění. *Giardia intestinalis* je rezistentní vůči dezinfekci, lze jej odstranit filtrací. [3]



Zdravotní riziko: vysoké

Přežívání ve vodě: 1 týden až 1 měsíc

Rezistence vůči chloru: vysoké (dezinfekce je neúčinná)

Míra nakažlivosti: vysoká

Živočišný zdroj: ano

Relevance v ČR: střední

**Obr. 3.18** *Giardia intestinalis* [79]

Dalšími patogeny přenášené vodou, která způsobují průjemová onemocnění, jsou bakterie rodu *Campylobacter* a z virů *adenoviry*, *enteroviry*, *noroviry* a další. Všechny zmíněné nemoci mohou probíhat od lehkého průběhu, kdy si organismus poradí sám, až po život ohrožující onemocnění. [3]

### 3.2.3 Vliv chloru na patogeny

Dezinfekci vody na úpravně je zapotřebí provádět v případě, že má provozovatel k dispozici surovou vodu nesplňující mikrobiologické požadavky dané vyhláškou č. 252/2004 Sb. Většina vodárenských společností v ČR k tomu provádí dodatečnou chloraci vody. Cílem je usmrcení nežádoucích bakterií, které by mohly do vody proniknout např. při prasknutí potrubí a poklesu tlaku, a dále zamezit zvyšování počtů kolonií během distribuce vody. Bylo zjištěno, že kdyby skutečně došlo k masivnímu vniknutí znečištěné vody do potrubí, nemůže být používaná koncentrace chloru (do  $0,3 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ) v žádném případě účinná (*podkapitola Epidemie Dejvice a vliv residuálního chloru*). Co se týče omezení druhotného pomnožování bakterií v rozvodné síti, většina patogenních mikroorganismů se nemůže v pitné vodě pomnožovat, ale jen přežívat, jak již bylo zmíněno výše. [9]

Dle vodárenské praxe je potřeba působení chloru o koncentraci  $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  po dobu 30 minut k zajištění inaktivace běžných střevních patogenů a virů, avšak nedojde k inaktivaci prvoků, ty musí eliminovat úprava vody. Jiná situace nastává při kontaminaci sítě s residuální koncentrací  $0,05\text{--}0,00 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} \text{ Cl}_2$ . Redukce výchozích počtů mikroorganismů na  $\text{cm}^2$  plochy

biofilmu však neeliminuje veškerou bakteriální biomasu, jen poněkud sníží její rozvoj. Dále uvádí, že při reziduální koncentraci chloru  $0,2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  biofilm dezinfekce významně neovlivní. [8]

Jestliže se chlor používá jen dočasně, vede to v důsledku chemických reakcí oxidačního činidla mimo jiné také k vyšší aktivitě bakterií, pokud nejsou zcela usmrceny. Tím se mohou ve větší míře uvolňovat bakterie z biofilmu do vodní masy, což může vést k nárůstu počtu kolonií ve vodě. Stejný účinek na aktivitu bakterií mohou mít také výkyvy v koncentraci chloru. Kromě toho, v důsledku reakce desinfekčního prostředku s organickými látkami, může docházet k dodatečnému zvýšení asimilovatelného organického uhlíku, který tvoří tu část organického uhlíku ve vodě, kterou mohou využít bakterie v biomase jako potravu. Naopak při stabilních poměrech, stejně jako při provozování sítě bez desinfekčního prostředku, je úroveň počtu kolonií stabilní. [9]

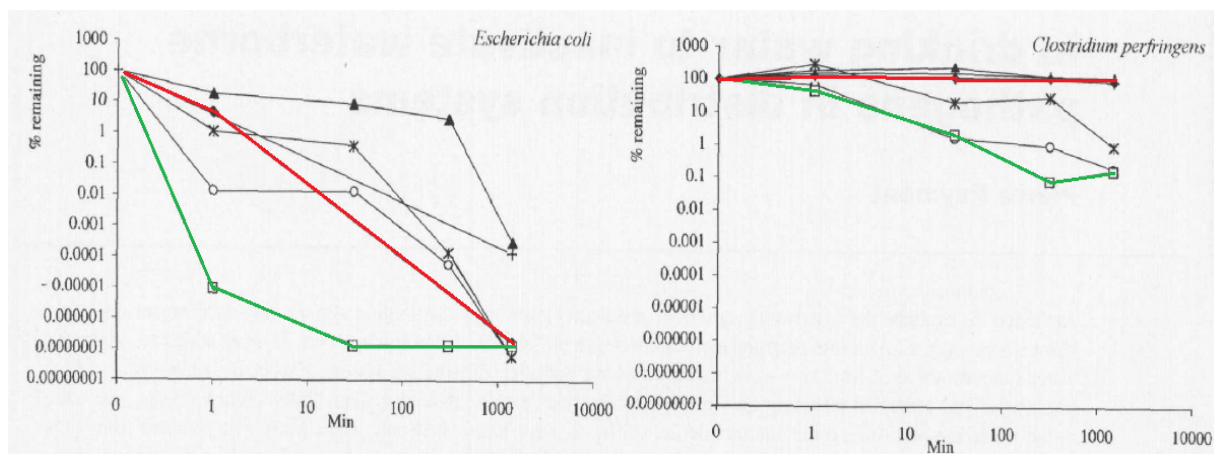
### 3.2.4 Schopnost reziduálního chloru inaktivovat patogenní organismy

Dle studie, která byla zaměřena na zkoumání vlivu reziduálního chloru na patogenní organismy, bylo dosaženo následujících výsledků. Když byla odpadní voda přidána do vzorků s pitnou vodou, původní *thermotolerantní koliformy* byly inaktivovány pouze pokud voda obsahovala vysokou koncentraci reziduálního chloru blízko úpravny vody. *Clostridium perfringens* byly stěží inaktivovány, což naznačuje, že nejodolnější patogeny jako *Giardia intestinalis*, *Cryptosporidium parvum*, a *enterické viry* nebudou inaktivovány vůbec. Výsledek svědčí o tom, že udržování volného reziduálního chloru v distribučním systému neposkytuje významnou inaktivaci patogenů, ale přítomnost chloru ve vodě může rychle inaktivovat indikátorové bakterie jako je *E. Coli* a *thermotolerantní koliformní bakterie*. Přitom resistantnější patogeny takřka neovlivní i při působení několik hodin. Což může podávat falešnou informaci o bezpečnosti systému, poskytnutím negativních výsledků *koliformů* a negativních *E. coli* při testování vody. [27]

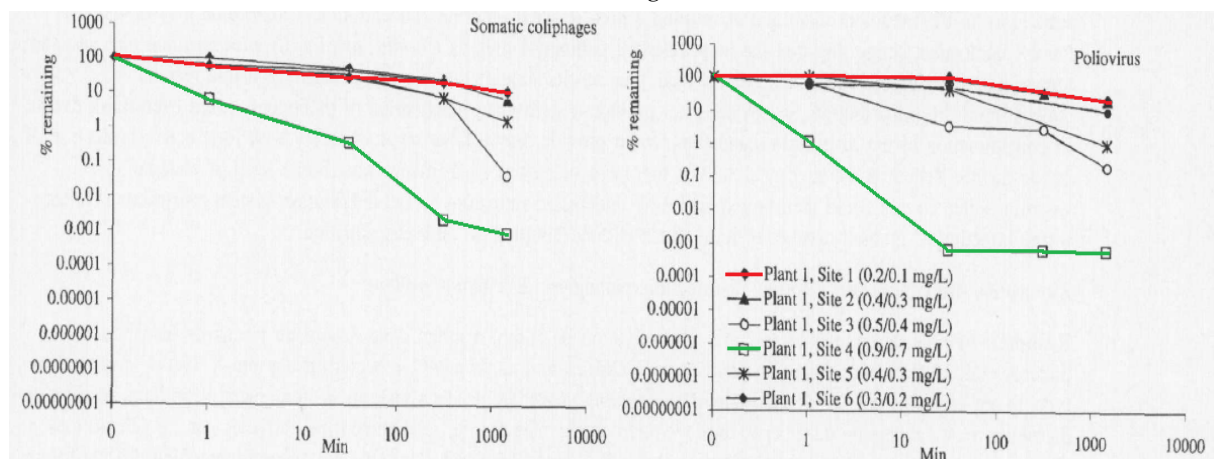
Když voda opouští úpravnu vody, splňuje limity jakosti vody dle vyhlášky č. 252/2004 Sb. Během transportu v distribučním systému může dojít ke kontaminačním událostem během oprav, skrz zpětného nasátí, nebo během ztráty tlaku v části systému. Zatím je málo informací o tom, zda se kontaminovaná voda pohybuje jako hmota, nebo se zředí. Obvykle se předpokládalo, že přítomnost reziduálního chloru je rychlé řešení k inaktivaci patogenů a indikátorových bakterií, které vniknou do systému. Avšak, bakteriální indikátory jsou mikroorganismy citlivé na chlor. Proto ve vodě, která obsahuje chlor, je detekce bakteriálních indikátorových mikroorganismů nepravděpodobná, zatímco mohou být přítomny resistantnější patogeny jako viry a protozoální cysty. [27] Příklady virových onemocnění jsou důkazem, že i v systémech s vodou obsahující chlor dochází k epidemiím. Například studie z Finska dokládá velkou epidemii (3000 případů) způsobenou noroviry z neadekvátně chlorované vody (2% NaClO dávkován do upravené vody filtrací) z jezera, které bylo kontaminováno odpadními vodami. [8]

Při zkoumání vlivu reziduálního chloru na mikroorganismy bylo použito 6 vzorků s různými zbytkovými koncentracemi chloru. Na následujících grafech lze vidět jednotlivé testované patogeny a jejich inaktivaci při různých koncentracích zbytkového chloru. *E. coli* byla inaktivována při různých koncentracích, největší inaktivace nastala v místech při opuštění úpravny vody (*site 4*), kde byla nejvyšší koncentrace chloru  $0,9/0,7 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  (celkový/volný). [27]





**Obr. 3.19** Inaktivace *E. coli* (vlevo) a *Clostridium perfringens* (vpravo), červená při koncentraci chloru 0,2/0,1 mg·l<sup>-1</sup>, zelená červená při koncentraci chloru 0,9/0,7 mg·l<sup>-1</sup> [27]



**Obr. 3.20** Somatic coliphages (vlevo), Poliovirus (vpravo), červená při koncentraci Cl<sub>2</sub> 0,2/0,1 mg·l<sup>-1</sup>, zelená červená při koncentraci chloru 0,9/0,7 mg·l<sup>-1</sup> [27]

Z grafů vyplývá, že k inaktivaci *E.coli* dochází téměř při všech koncentracích chloru, oproti tomu při koncentraci chloru kolem 0,1 mg·l<sup>-1</sup>, což je koncentrace běžně se vyskytujícího residuálního chloru v sítích, nedochází k téměř žádné inaktivaci *Clostridium perfringens* a k minimální inaktivaci Somatic coliphages a Poliovirů. [27]

Výsledky ukazují, že nejvíce rezistentní mikroorganismy, jako jsou sporující bakterie a viry, jsou téměř nedotknutelné residuální koncentrací chloru. Naznačují, že zvýšení bezpečnosti veřejného zdraví nemusí být dosaženo udržováním residuální koncentrace chloru v síti. Také rychlá inaktivace indikátorových organismů může podat falešně pozitivní informaci o kvalitě vody. [27]

Ohledně residuálního chloru je potřeba vzít v úvahu velikost distribuční sítě oproti kontaminační události. Udržování adekvátního tlaku na síti může poskytnout bariéru proti vniknutí kontaminující vody, ale na druhou stranu nadměrným tlakem vody (zejména vodními rázy) může dojít k prasknutí trubky. Z dosavadních důkazů při distribuci pitné vody bez chemického residua v Evropě plyne, že voda může být dodávána bez chemického residua, pokud na síti existuje dostatek opatření proti vniknutí kontaminace vody. [16]

Na druhou stranu dezinfekční reziduum může hrát klíčovou úlohu při signalizaci kontaminace v distribučním systému (a to rychlou spotřebou chloru), je prevencí proti opětovnému růstu koliformních bakterií, zpomaluje tvorbu biofilmu a stabilizuje vodní kvalitu. [27]

I přes udržování residuálního chloru bylo v několika případech hlášeno onemocnění z vody. U nás byla v poslední době největší epidemií Praha Dejvice, v květnu roku 2015. Viz podkapitola *Epidemie Dejvice a vliv residuálního chloru*.

Dle nizozemské studie ohledně výskytu, četnosti, rozsahu a zdravotního rizika kontaminačních událostí v síti nastává otázka, zda je dezinfekční reziduum nutné?

Mnoho ohnisek kontaminací bylo hlášeno v chlorovaných systémech. Např. Ve Velké Británii inspekce pitné vody zaznamenává mezi 14 a 47 mikrobiologických kontaminačních akcí ročně v období 1990-2005. Lze vidět rostoucí počet událostí v síti, a to má spojitost s rostoucími nápravnými činnostmi z důvodu stárnoucí sítě. Tato zjištění ukazují, že zbytkový dezinfekční prostředek v síti není absolutní ochranou. Ochranou jsou stavební a hydraulická integrita sítě, přísná hygiena a preventivní opatření, zatímco dezinfekční reziduum by mělo být léčebné opatření při selhání systému. Při provozování sítě bez zbytkového dezinfekčního činidla vodárny spoléhají na preventivní opatření, ale také mají mnohem citlivější monitorovací systém pro detekci fekální kontaminace. Několik střevních patogenů, zejména virů a prvků, jsou odolnější vůči chloru než indikátor bakterií, jako je *E. coli*. To znamená, že infekční patogeny se mohou vyskytovat v kontaminované vodě, ve které byly inaktivovány indikátorové bakterie pro fekální znečištění, jak již bylo uvedeno výše. Například bylo hlášeno několik onemocnění z vody, vyvolaných prvoky, nebo viry, ve které nebyla zjištěna přítomnost *E. coli*. [1]

V nizozemské studii byly porovnány data z tříletého monitoringu z Francie, Německa a Nizozemska. Nejvyšší procentuální podíl vzorků obsahující *E. coli* byl ve Francii. Ve Francii převažují menší venkovské vodovody, zatímco v Německu a Nizozemsku převažují velké systémy. Ačkoliv přímé srovnání brzdí povaha systému, bylo zjištěno, že vysoká úroveň bezpečnosti je dosažena v systému bez desinfekčního rezidua. Data také ukazují, že jakost vody by mohla být také ovlivněna v průběhu distribuce, při porovnání pozitivních vzorků na *E. coli* v Německu a Nizozemsku. Studie naznačila, že kontaminanty se vyskytují zřídka a během krátkého období. [1]

### ***Epidemie Dejvice a vliv residuálního chloru***

Na konci května 2015 došlo v Praze – Dejvicích k poruše při zásobování pitnou vodou, která měla za následek největší známou tuzemskou epidemii z pitné vody za posledních více než 50 let (více než 10 tisíc případů akutního gastrointestinálního onemocnění způsobeného různými viry, bakteriemi a možná i prvoky, zřejmě s převahou norovirů). [13]

V týdnu plánované opravy provozovatel dávkoval chlor na povolené maximum  $0,3 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ . Po opravě byl řad po dobu 24 hod proplachován vodou o stejné hodnotě koncentrace chloru ( $0,3 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ). Po zprovoznění řadu se pitná voda smíchala s přibližně  $3 \text{ m}^3$  odpadní vody. Po smíchání s vodou druhého řadu nevykazovala distribuovaná voda zápach ani známky znečištění u spotřebitelů. Voda chlorovaná na povolené max.  $0,3 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  nedokázala tuto mikrobiologickou kontaminaci zvládnout. [13]

Když byla zjištěna kontaminace, provozovatel začal intenzivně proplachovat síť se zvýšenou dávkou koncentrace chloru na  $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ . Voda byla hygienickou stanicí znovu prohlášena za pitnou po 4 dnech od vypuknutí epidemie. Od tohoto dne bylo dávkování chloru na vodojemu sníženo na  $0,5\text{--}0,6 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  a po týdnu na  $0,4 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ . Podle ohlasů, které se dostaly na SZU,

nebyla voda pitná (z důvodu nepříjemné senzoriky způsobené chlorem) ještě měsíc poté, co byla voda úředně prohlášena za pitnou. Voda měla v tu dobu také vyšší obsahy vedlejších produktů dezinfekce. [13]

Případ poukazuje na to, že vnikne-li do vodovodního potrubí organicky znečištěná voda, volný chlor rychle reaguje s organickými látkami a nemá již kapacitu (a čas) usmrtit choroboplodné zárodky. I kdyby voda měla dvojnásobný obsah chloru, stejně by nemohla epidemii zabránit, možná by ji jen zmírnila. Tento případ ilustruje, že reziduum desinfekčního prostředku v distribuované vodě neochrání vodu před sekundární kontaminací sítě. Dokázalo by si snad poradit s nepatrnou mikrobiologickou kontaminací, ale ta by musela být spojena s nízkým obsahem organických látek a muselo by k ní dojít dále od zásobovaných objektů, aby čas působení chloru byl aspoň v řádu hodin. Také v těchto případech se může jednat o kontraproduktivní účinek, protože používané nízké dávky chloru dokážou (při dostatečně dlouhé době kontaktu) usmrtit bakterie *Escherichia coli* či koliformní bakterie, které používáme jako hlavní indikátory mikrobiologické nezávadnosti vody, ale nemusí již usmrtit viry (a už vůbec ne prvoky), které jsou rezistentnější. Nulové výsledky *E. coli* (enterokoků, koliformních bakterií) pak mohou dávat provozovateli vodovodu falešný obraz, že voda je v pořádku, a maskovat existující problém s „netěsností“ distribučního systému. [13]

### ***Vliv reziduálního chloru na biofilm***

Pro posouzení účinků chemické dezinfekce je podstatné sledování rozvoje mikroflóry v biofilmech. Zde je přítomná většina biomasy buněk mikrobů a počty buněk ve vodě se odvíjí od rozvoje biofilmu. Působením reziduálního chloru na biofilm nedojde k eliminaci veškeré bakteriální biomasy, ale pouze k redukci počtů mikrobů na  $\text{cm}^2$  plochy a ke snížení jeho rozvoje. Redukce biofilmu (biomasa vyjádřena jako  $\text{pg ATP} \cdot \text{cm}^{-2}$ ) koncentrací chloru  $0,2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  na  $< 50 \text{ pg ATP} \cdot \text{cm}^{-2}$  a při  $0,3 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} \text{ Cl}_2$  na  $< 10 \text{ pg ATP} \cdot \text{cm}^{-2}$  v síti za reálných poměrů (s reziduální koncentrací), tato hodnota kolísá v rozpětí 2–1167  $\text{pg ATP} \cdot \text{cm}^{-2}$ . To signalizuje, že zbytkové koncentrace za reálných podmínek významně biofilmy neovlivní. Nižší hodnota rozložitelných organických látek (BOM) a vyšší hodnota reziduálního chloru vede k nejnižšímu rozvoji biofilmu. Reziduální chlor o koncentraci  $0,5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  i při vysoké hodnotě BOM ( $500 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ ) vykazuje o 3–3,5 řadu nižší rozvoj biofilmu (v  $\log \text{ ktj} \cdot \text{cm}^{-2}$ ) oproti situaci bez reziduálního chloru. Experimentálním srovnáním vlivů různých materiálů potrubí (PVC, železo, cementované a epoxi materiály) bez zbytkového a se zbytkovým reziduem  $0,2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  bylo zjištěno, že největší rozvoj biofilmu vykazují železné materiály a nejnižší PVC. [8]

## **3.3 VÝHODY A NEVÝHODY DEZINFEKCE CHLOREM**

Pitná voda je dodávána z úpravny vody spotřebitelům přes potrubí a vodojemy. V situacích, kdy je k dispozici surová voda o vysoké jakosti a při úpravě vody je využito multibariérového přístupu, si tato voda udržuje svou kvalitu i během transportu. Mikroorganismy vyskytující se v síti mohou ovlivnit vodní jakost následujícím způsobem [1]:

- Vniknutí patogenů z důvodu ztráty hydraulické a fyzické integrity sítě a současně se vyskytujícího zdroje kontaminace poblíž sítě (například kanalizace). [1]
- Růst mikroorganismů v distribučním systému, přičemž některé z nich mohou být oportunistickými patogeny jako je *Legionella pneumophila*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Acanthamoeba*, *Naegleria fowleri* a další. [1]



Tyto problémy nejen že ovlivní vodní kvalitu, ale mohou také představovat zdravotní riziko u spotřebitele. Kromě toho růst ne-patogenů může vést k: [1]

- Nedodržení standardů jakosti vody pro celkové koliformní bakterie a kolonie bakterií.
- Estetické problémy jako přítomnost prvků, a také chuťové a pachové problémy.
- Korozi potrubních materiálů. [1]

V bohatých státech existují dva přístupy, jak mít pod kontrolou vodní kvalitu z hlediska mikrobiologického. [1]

- **Prvním přístupem je:** udržování desinfekčního rezidua ve vodě během distribuce jakožto bariéry proti vniknutí mikrobiální kontaminace a k omezení mikrobiálního růstu. [1]
- **Druhým přístupem je:** kontrola rizika vniknutí bakterií pomocí přísného udržování fyzické a hydraulické integrity (celistvosti) sítě. A kontrolování růstu mikroorganismů pomocí distribuce biologicky stabilní vody a užití materiálů, z kterých se nevyluhováají živiny. V tomto druhém přístupu je voda distribuována bez přítomnosti desinfekčního rezidua. Tento přístup je aplikován v některých evropských zemích a byl předmětem mnoha diskuzí v 90. letech. V těchto debatách bylo probíráno pro a proti distribuci vody s desinfekčním reziduem. [1]

Nejdůležitější argumenty **pro** používání desinfekčního rezidua jsou:

1. Přítomnost desinfekčního rezidua může redukovat riziko mikrobiální kontaminace, která může vniknout do sítě. S narůstající složitostí systému a stárnutím je reziduální dezinfekce nezbytná k inaktivaci mikrobiálních patogenů, které se mohou dostat do sítě skrz zpětného nasátí, nebo během poruchy či opravy. Pro malé systémy s omezenými zdroji je reziduální dezinfekce poměrně jednoduché a levné řešení k zlepšení mikrobiologické bezpečnosti. [1]
2. Přítomnost reziduální dezinfekce ovlivňuje růst mikroorganismu v síti. Ovlivňuje mikrobiální jakost vody, jako jsou celkové koliformy a kolonie bakterií. [1]
3. Přítomnost rezidua dezinfekce může upozornit na poruchu integrity systému. Jakmile je síť monitorována odběry vzorků nebo on-line senzory, snížení koncentrace desinfekčního rezidua může být signálem pro kontaminační událost, která nastala. [1]

Nejdůležitější argumenty **proti** užívání desinfekčního rezidua:

1. Dezinfekční prostředky reagují s organickými a anorganickými sloučeninami ve vodě, a dochází k tvorbě vedlejších produktů dezinfekce (DBP). DBP závisí na mnoha faktorech, ale DBP jako například THM jsou ve většině případů zaviněny chlorací vody. Bylo definováno více jak 600 DBP. Některé skupiny DBP jsou spojovány s nemocemi u člověka. [1] Tyto vedlejší produkty se nesnadno štěpí; bioakumulují se, což znamená, že jsou absorbovány rychleji, než jsou štěpeny. Z tohoto důvodu se vedlejší produkty chloru mohou hromadit v těle ve větší míře, než je tělo může detoxikovat. [36] Některé z DBP (bromičnany, benzaldehyd) z dlouhodobých studií na zvířatech ukazují karcinogenitu a některé jsou definovány jako možné karcinogeny. Celoživotní pití chlorované vody je spojeno s rakovinou močového měchýře s mírou rizika přibližně 1 z 1000. Méně jednoznačné jsou výsledky pro výskyt rakoviny tlustého střeva, konečníku a pro reprodukční funkce [1], vliv na příčinu infarktů a narušení imunitního systému. Podle Rady US environmentální kvality (U.S. Council of Environmental Quality) riziko rakoviny pro lidi, kteří pijí chlorovanou vodu, je

o 93 % vyšší než u těch, jejichž voda neobsahuje chlor. [36] Byl objeven důkaz pro spojitost mezi výskytem vedlejších produktů dezinfekce, speciálně THM, a vrozenou vadou zdraví, zejména gestační (nitroděložní, vývoj plodu) růstové postižení a v menší míře k předčasnému porodu. Ale důkazy pro vztah s ostatními výsledky jako je nízká porodní váha, porod mrtvých dětí, vrozené vady a vliv na kvalitu spermatu je neprůkazné a rozporuplné. [1] Pozn. v USA pitná voda může obsahovat vyšší hodnoty koncentrace chloru než v evropských zemích.

2. Reakce desinfekčního činidla s organickými sloučeninami ve vodě může také produkovat sloučeniny, jako jsou halogenové fenoly a anisoly, které zapříčiňují stížnosti spotřebitelů na chuť a vůni vody. Chuť a vůně jsou nejčastější stížnosti odběratelů vody. Také spotřebitelé mají negativní názor na chloraci vody, a to jak z hlediska estetického, tak bezpečnostního. [1]
3. Citlivost patogenu v distribuční síti na desinfekční prostředky se liší. Desinfekční prostředky (činidla) jsou efektivní vůči bakteriím, méně proti virům a nejméně proti parazitickým prvokům. Chlor a chloramin není účinný proti *Cryptosporidium*. [1]
4. Užití desinfekčního rezidua může maskovat poruchu celistvosti (integrity) systému a vniknutí mikrobiální kontaminace. Při testech vodní kvality jsou zjišťovány *Koliformy* a *E. Coli*. Ty jsou na přítomnost chloru velice citlivé. Což může naznačovat, že voda není kontaminovaná, přičemž odolnější patogeny zůstanou ve vodě přítomny. Což je zvláště důležité při odebrání a testování vzorků po opravách a poruchách. Viz kapitola 3.2.4 *Schopnost reziduálního chloru inaktivovat patogenní organismy*. [1]
5. Desinfekční reziduum není moc účinné proti bakteriím v biofilmu vyskytující se na stěně potrubí, nebo proti bakteriím v sedimentech. Desinfekční činidlo reaguje s biofilemem (materiálem, hmotou biofilmu), ale nedokáže reagovat s bakteriemi. Také část bakterií, které se sloupnou ze stěny a dostanou se do proudu vody, je obtížné inaktivovat a napadnout. [1]
6. Dezinfekce je cílená spíše na příznaky než na příčiny mikrobiálních problémů v síti. Příčina vniku je nedostatečná hydraulická a strukturální (stavební) integrita (celistvost) systému a nedostatečná hygiena. Příčina tvorby biofilmu je jakost upravované vody a materiál použitý v síti. [1]
7. Desinfekční reziduum není zachováno v celé síti. Tzn. že jen část sítě a část spotřebitelů je chráněno přítomností reziduálního chloru a část ne. Desinfekční rezidua mohou dokonce zlepšit opětovný růst, protože reagují s organickými sloučeninami ve vodě a produkují sloučeniny, které jsou snadněji biologicky rozložitelné. [1]
8. Používání toxických chemikálií, jako je chlor a oxid chloričitý, vyžaduje výrobu a dopravu těchto látek s rizikem nehod nebo úniku. [1]

Při pohledu na výhody a nevýhody neexistuje jednoduchá odpověď na otázku, zda je zbytkový chlor nezbytný a výhodný pro zdraví a zdravou kvalitu pitné vody. Odpověď samozřejmě závisí také na kontextu, jaká jakost vody vstupuje do sítě, hydraulické a stavební integrity sítě a schopnosti aplikovat správnou hygienizaci. [1]

### 3.3.1 Co může způsobit přidání chloru do vody

- Oxidaci (destrukci, změnu formy) nežádoucích látek v rámci úpravy vody – reakce žádoucí. [11]
- Inaktivaci (usmrcení) patogenních mikroorganismů – reakce žádoucí. [11]
- Inhibici sekundárního pomnožování bakterií v distribuční síti – reakce žádoucí. [11]
- Oxidaci zbytkového rozpuštěného železa a manganu v síti – reakce nežádoucí. [11]
- Vznik toxických vedlejších produktů oxidace (dezinfekce) – reakce nežádoucí. [11]
- Pachové a chuťové problémy (vliv samotného oxidantu nebo vzniklých sloučenin) – reakce nežádoucí. [11]
- Přeměnu vysokomolekulárních přírodních organických látek na jednodušší látky s nižší molekulovou hmotností, které jsou využitelné bakteriemi jako zdroj potravy a energie → snižování biologické stability vody → podpora sekundárního pomnožování bakterií v distribuční síti – reakce nežádoucí. [11]
- Úplnou inaktivaci indikátorových, ale jen částečnou inaktivaci některých patogenních mikroorganismů, což poskytuje falešně negativní obraz o nezávadnosti vody – reakce nežádoucí. [11]
- Dezinfekční prostředky mohou přispět k vyplavování olova z trubek ve starších distribučních soustavách. [16]

Zda a nakolik se tyto reakce v určitém systému zásobování skutečně projeví, záleží – vedle řady jiných faktorů – především na dávce a místě dávkování oxidantu. [11]

### 3.3.2 Možná rizika plynoucích z dezinfekce pitné vody

První místo na světě, kde poprvé přistoupili na kontinuální dezinfekci, bylo USA v roce 1902. Poté se začal chlor jako dezinfekce používat v Evropě. V naší zemi bylo první řádné chlorování zavedeno v Praze roku 1924. [54]

Časem vyšlo najevo, že chlorování vody může nepříznivě ovlivnit její chuť a vůni, ale také za přítomnosti přírodních organických látek mohou vznikat vedlejší produkty dezinfekce. O některých lze říct, že mají různé toxické, nebo karcinogenní vlastnosti. Vedlejší produkty jsou povinně sledovány a stanoveny limitem. Dle World Health Organization (WHO) by použití chloru mělo vyvážit rizika mikrobiologické vs. chemické. [54]

Bylo také zjištěno, že úprava vody chlorem mění strukturu přírodních organických látek za vzniku látek o nižší molekulové hmotnosti. Nově vzniklé produkty jsou pak pro mikroorganismy lépe využitelným zdrojem energie, čímž roste potenciál, že se ve vodě budou množit bakterie. [54]

Reakcí desinfekčního činidla v upravované vodě může vznikat široké spektrum vedlejších produktů (DBP). Tyto vedlejší produkty představují sice menší riziko než možné infekce plynoucí z neupravené vody, ale při jejich pravidelném a dlouhodobém užívání může dojít k negativním účinkům na zdraví. [60] V 70. letech byly poprvé identifikovány první vedlejší produkty (DBP) chlorace vody. Nejvýznamnějším DBP jsou trihalometany (THM), dalšími jsou halogenoctové kyseliny, halogenacetonitrily, furanony, chlorfenoly, furanony či chlorpirkin. Nejčastěji se vyskytujícím THM je trichlormetan (chloroform), pro vznik musí být přítomny prekursorů ve vodě (prekursor je látka schopná reagovat s chlorem za vzniku organohalogenů). Nejvýznamnější prekursor THM jsou makromolekulární organické látky vyskytující se zejména v povrchových vodách, což jsou především huminové látky, ale také

řasy, sinice a jiné mikroorganismy. Byla prokázána karcinogenita a mutagenita THM při testech na zvířatech. Chloroform a ostatní THM mohou způsobovat rakovinu jater, ledvin, močového měchýře, tlustého střeva, konečníku a mají i negativní dopady na reprodukční funkce. Dřívější studie zkoumaly především jejich orální příjem, ale vzhledem k jejich velmi těžké povaze je nebezpečný také jejich dermální a inhalační příjem, např. při sprchování nebo návštěvách plaveckých bazénů. Dlouhodobá konzumace pitné vody s vysokým obsahem halogenoctové kyseliny může mít negativní vliv na reprodukci, způsobit vývojové vady a zvýšit riziko rakoviny. Proti tvorbě vedlejších produktů dezinfekce navrhla U.S. Environmental Protection Agency (EPA) opatření, které zahrnuje odstranění prekurzorů DBP (což je měřeno celkovým organickým uhlíkem TOC) použitím koagulace a změkčování. Studie provedena na vodárenské soustavě v jižních Čechách, prokázala, že částice, které se uvolní do vody v distribuční síti ze sedimentů, mohou podporovat tvorbu THM. Tvorba DBP tedy závisí na koncentraci resuspendovaných částic ve vodě, koncentraci a druhu desinfekčního činidla a kontaktní době částic s tímto činidlem. Oxidací přirozených organických látek oxidem chloričitým nedochází na rozdíl od chlorace ke vzniku halogenových vedlejších produktů, jako jsou trihalogenmetany nebo halogenoctové kyseliny. Oxid chloričitý pro lidské zdraví také potenciální riziko v podobě anorganických vedlejších produktů chloritanů ( $\text{ClO}_2^-$ ) a chlorečnanů ( $\text{ClO}_3^-$ ). Dlouhodobá expozice chloritanů je spjata s poruchami hemolytického systému. Nízké dávky  $\text{ClO}_2^-$  mohou způsobovat hemolytickou anemii či poškození buněčných membrán červených krvinek. Vyšší dávky mohou přispět k methemoglobinémii. Některé testy poukazují také na předčasné porody žen žijících v oblastech s vysokými koncentracemi chloritanů. [67]

## 4 PŘECHOD NA PROVOZ ZÁSOBOVÁNÍ PITNOU VODOU BEZ DEZINFEKČNÍHO ČINIDLA

Vynecháním chemické dezinfekce, ztrácí systém jednu z bariér ochrany. Je důležité posoudit, zda je vůbec systém vhodný pro provoz bez dezinfekčního činidla. Posouzení je zvláště důležité pro malé vodovodní systém, které si provozuje a vlastní sama obec. Je důležité si uvědomit, jaké možné nežádoucí stavy se mohou při přechodu na zásobování vodou bez dezinfekčního činidla vyskytnout, a které faktory je ovlivňují, aby se jim dalo zabránit či předcházet. V této kapitole je popsáno posouzení systému vhodnosti pro zásobování pitnou vodou bez dezinfekčního činidla. Dále je zde popsána metodika WaterRisk, dle které byly stanovovány nežádoucí stavy a faktory, které zmíněný provoz ovlivňují.

### 4.1 PRVOTNÍ POSOUZENÍ SYSTÉMU VHODNOSTI PRO ZÁSOBOVÁNÍ PITNOU VODOU BEZ DEZINFEKČNÍHO ČINIDLA

Nelze říci, že každý systém je připraven pro ukončení chemické dezinfekce. Tomuto procesu musí předcházet řada šetření spočívajících v osobních prohlídkách jednotlivých částí vodovodního systému a posouzení jejich technického stavu. Dříve, než začne provozovatel uvažovat o zásobování vodou bez dezinfekčního činidla, měl by být vodovodní systém podroben prvotní celkové analýze, zda je vůbec vhodný pro tento typ provozu. Vynecháním chemické dezinfekce a s tím související ztrátou obsahu zbytkového dezinfekčního činidla v síti, ztrácí systém jednu z bariér ochrany. Proto je důležité, aby ostatní bariéry byly spolehlivé a funkční. Přezkoumán by měl být zdroj vody, úprava vody (pokud je zařazena) a distribuční síť a objekty s ní související.

Velké vodárenské systémy bývají provozovány specializovanými společnostmi zajišťujícími odpovídající technický stav objektů SZV a technologie UV s patřičně kvalifikovaným personálem. Proto je prvotní posouzení důležité zejména v případě malých vodárenských systémů, které si provozuje sama obec. V těchto případech se mohou vyskytovat problémy s nedostatečnou ochranou vodního zdroje, jednoduchou technologií úpravy vody, někdy tvořenou pouze dezinfekcí, nedostatkem odborných znalostí provozovatele, aj.

#### 4.1.1 Zdroj vody a ochranné pásmo

Nejvhodnější pro provoz bez dezinfekčního činidla je podzemní zdroj, který není ovlivňován vodou povrchovou. Oproti vodě povrchové má podzemní voda téměř stálou teplotu po celý rok. Podzemní voda nemusí být nijak složitě upravována, neboť půda a horniny nad ní plní funkci filtru, a proto voda splňuje mikrobiologickou a biologickou jakost vody (dle vyhlášky č. 252/2004 Sb.) S tím souvisí i její celková biologická stabilita (viz *Faktor F1.2* níže). Pokud jsou v podzemní vodě přítomny koliformní bakterie nebo *E. coli*, nebo je ve vodě vyšší obsah organických látek, poukazuje to na vliv povrchové vody, nebo vniku znečištění.

Pro provoz bez dezinfekčního činidla je důležité, aby zdroj vody přispíval do multibariérového přístupu ochrany provozování sítě a jeho bariéra byla účelná, například:

- Funkční ochranné pásmo I. stupně, které zamezí vniku nepovolaných osob a zvířet, čehož je docíleno kvalitním oplocením, zajištěným vstupem ke zdroji (poklop, aj.).

Ochranné pásmo II. stupně, ve kterém bude ohlídáno dodržení stanovených požadavků dle §30 Zákona č. 254/2001 Sb. o vodách, (v platném znění) minimalizace pastevevství a chovu dobytka v okolí zdroje aj.

- Vhodná ochrana zdroje vody a jeho jímání, dobře provedeny obsypy jímacích zařízení, nedochází k zákalovým událostem.
- Dostatečná hloubka jímacího zařízení, a to taková, že nemůže dojít k ovlivnění jakosti vody okolními splachy z půdy, (vliv povrchové vody), napjatá hladina.
- Dobrý stavební stav, nemůže dojít k vniku hlodavců, kroužkovců, hmyzu, spadného listí, aj.

Pokud zdroj splňuje tyto podmínky, lze předpokládat, že má funkční bariéru ve smyslu ochrany před kontaminací. Funkčnost bariéry je vhodné potvrdit porovnáním s výsledky analýzy mikrobiologických rozborů z posledních 2 až 3 let.

Pokud je potvrzeno ovlivnění podzemního zdroje vodou povrchovou (smyv při deštích aj.) a provozovatel má zájem o provoz vodovodní sítě bez chemické dezinfekce, lze uvažovat o nahrazení chemické dezinfekce UV zářením.

#### 4.1.2 Úpravna vody

Pokud je součástí systému zásobování vodou úpravna vody (ÚV), je důležité, aby i tato úpravna měla funkční bariéru a přispěla její spolehlivostí do multibariérové ochrany provozování.

Jeli zdroj vody povrchový, nebo podzemní ovlivněn vodou povrchovou, bývá voda většinou upravována filtrací s předsazenou koagulací. Spolehlivou bariéru úpravy vody a její akumulace tvoří kombinace:

- zabezpečení ÚV proti vniku nepovolaných osob, zvířete, hlodavců, hmyzu aj.,
- pravidelná uklízková údržba všech prostor (dezinfekce podlah, odstranění pavučin, aj),
- osazení prahů pod dveřmi k zabránění vniku prachu, pylu, částí omítky a jiných nečistot na volnou hladinu akumulace, nebo filtrů, což má za následek tvorbu biofilmů a vznik sedimentů v akumulaci,
- cirkulace vody, zamezení vzniku mrtvých koutů,
- pravidelné čištění a dezinfekce stěn akumulační nádrže, filtrů a jejich doplňování,
- dobrý technický stav akumulační nádrže, zejména těsnění, které brání prosakování povrchové vody při dešťových událostech,
- funkční větrací otvory, zabráňující tvorbě plísní, zabezpečení větracích otvorů, hlavně v akumulaci a v prostoru filtrů, před vnikem hmyzu, pylu a prachu,
- zamezení vniku slunečního záření do prostor filtrů a akumulace,
- praní filtru by mělo být stanovováno na základě hydraulických ztrát na filtru,
- zafiltrování by mělo být prováděno pomocí měření zákalu na odtoku,
- proškolení personálu, dobré hygienické návyky pracovníků (čistý oděv a obuv, aby nedocházelo k vnášení znečištění z venčí), zdravotní stav personálu z hlediska infekčnosti, aj.

Pokud úpravna vody a akumulace splňují tyto podmínky, lze předpokládat, že mají funkční bariéru ve smyslu ochrany proti kontaminaci. Funkčnost bariéry je vhodné potvrdit porovnáním s výsledky analýzy mikrobiologických rozborů z posledních 2 až 3 let. Dalšími

místa, kde může dojít ke zhoršení jakosti dopravované vody, je distribuční síť a objekty na ní jako jsou vodojemy (VDJ) a čerpací stanice (ČS).

### 4.1.3 Distribuční síť

Další část multibariérového přístupu ochrany tvoří distribuční síť s příslušnými objekty. Spolehlivá bariéra distribuční sítě a jejích objektů je tvořena:

- dostatečným přetlakem na síti (větší než 0,05 MPa) bez výrazného kolísání,
- nízkou poruchovostí sítě,
- nízkými ztrátami vody,
- proškoleným personálem,
- dostatečná rychlost v potrubí ( $v > 0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ), která brání stagnaci vody, tvorbě biofilmu a rozvoji mikroorganismů.

Pro objekty na síti jako jsou VDJ a ČS platí stejné požadavky, jako pro ÚV s akumulací, viz výše. Posledním místem, kde může dojít ke zhoršení jakosti dopravované vody je vnitřní rozvod u spotřebitele.

Pokud jsou splněny výše zmíněné podmínky, lze předpokládat, že je systém provozován s multibariérovým přístupem ochrany a je vhodný pro provoz bez použití desinfekčního činidla, což je však opět vhodné potvrdit porovnáním s výsledky analýzy mikrobiologických rozborů z posledních 2 až 3 let. Detailní popis je obsažen v německé strategii pro přechod na zásobování vodou bez desinfekčního činidla dle [39].

## 4.2 REAKCE SYSTÉMU V BAKTERIOLOGICKÝCH PROCESÍCH

Zkoumání mikrobiologické jakosti vody v distribučním systému poskytuje pouze časové a místní výsledky. Při změně desinfekčního režimu dochází ke změně okrajových podmínek mikrobiologických procesů a tím pádem může dojít k ovlivnění jakosti vody v síti. Níže budou popsány všeobecné představy o mikrobiologických procesech v distribučním systému s nízkým obsahem živin a nízkým, nebo žádným obsahem desinfekčního činidla. [39]

1. V distribučním systému je více jak 90 % bakterií uchycených v biofilmu na površích, tudíž jen malá část je přímo ve vodě. Bakteriologické procesy růstu jsou orientovány v biofilmu. Mikrobiální růst ve vodě je zanedbatelný. [39]
2. Pokud jsou v distribučním systému stabilní podmínky (obsah živin ve vodě, zbytkové desinfekční činidlo, teplota, povrchy), předpokládají se i stabilní podmínky v biofilmu. To znamená, že existuje rovnováha mezi růstem a „odumíráním“ biofilmu. Za stabilních podmínek je změna v počtu kolonií ve vodě nízká. [39]
3. Zvýšený počet kolonií v distribuční síti je často příčinou narušení stabilních podmínek. Následující faktory mohou vést ke zvýšenému „odlupování bakterií“ z biofilmu: [39]
  - a) Náhle zvýšení koncentrace živin má za následek zvýšený růst bakterií ve vrstvách biofilmu a následně tento zvýšený růst má za následek zvýšené „odlupování“ bakterií z biofilmu. Tento stejný efekt může mít i náhle zvýšení teploty. [39]
  - b) Kolísání koncentrace zbytkového desinfekčního činidla narušuje stabilitu biofilmu a v důsledku toho dochází k „odlupování vrstev“ biofilmu do vody.

#### 4. Vliv na kvalitu vody má také charakter biofilmu. [39]

Při dávkování chloru do systému zásobování pitnou vodou reaguje chlor se stěnami potrubí (biofilmem, materiálem, sediment, aj.) a se složkami obsaženými ve vodě, tudíž je spotřebováván a jeho koncentrace klesá.

V místech dávkování chloru má chlor ještě dostatečnou kapacitu (vyšší obsah koncentrace volného chloru), aby významně ovlivňoval tvorbu biofilmu. Bakterie ve vodě mohou být z větší části inaktivovány působením chloru, dochází ke zpomalení růstu biofilmu. Také v přítomnosti chloru se vytváří na povrchu potrubí hrbolky, které jsou způsobeny produkty koroze, a představují pro bakterie „ekologický výklenek“. Lze předpokládat, že v pozůstalých bakteriích existuje určitá odolnost proti dezinfekčnímu prostředku. Nedochází k vytváření kolonií bakterií, příčinou je citlivost těchto bakterií na dezinfekční činidlo. Nedochází ke snižování živin, spíše oxidačními procesy dezinfekčního prostředku může dojít k oxidaci organických látek obsažených ve vodě a ke vzniku biologicky snadno rozložitelných sloučenin. [39]

Časem se chlor spotřebovává a zbytková koncentrace volného chloru není dostatečná k odstranění bakteriálního opětovného růstu na povrchu. Jsou-li ve vodě obsaženy biologicky snadno rozložitelné sloučeniny, dochází ke zvýšení bakteriálního osídlování. [39]

Poté, co je chlor ve vodě zcela spotřebován, bakteriologické procesy již nejsou ovlivňovány zbytkovým obsahem chloru. Zvyšuje se aktivita bakterií. V závislosti na obsahu živin se ve vodě tvoří kolonie bakterií, které mohou osídlivat biofilm a postupně se uvolňovat do vody při nestabilních podmínkách. Dalším průběhem, při stabilních podmínkách, nastává rovnováha, přičemž koncentrace bakterií a počet kolonií je stabilizovaný. V průběhu času dochází k poklesu bakteriálních parametrů. Díky nízké koncentraci živin se sníží „odlupování“ biofilmu a dochází k odumírání bakterií ve vodě. [39]

Při ukončení chlorování dochází k prudké změně procesů v biofilmu v oblasti, kde docházelo k dávkování chloru. Vzhledem k tomu, že není pořádně vytvořena extracelulární polymerní substance (EPS), mohou být bakterie uvolňovány do vody. EPS se postupně vytváří a tím pádem se snižuje uvolňování bakterií do vody. To, jakým způsobem dojde k přetvoření biofilmu a ke změnám kvality, závisí na více faktorech: [39]

1. Obsah živin ve vodě: Pokud voda obsahuje vysoký podíl živin pro bakterie tvořící kolonie, vede to ke zvýšenému růstu této skupiny bakterií na povrchu. Tím také dochází ke zvýšenému uvolňování bakterií do vody. Oproti tomu nízkým obsahem živin je daný růst i uvolňování bakterií do vody odpovídajícím způsobem nižší. [39]
2. Situace živin na dříve neosídlených oblastech: Neosídlené oblasti prokazují tzv. formovací film. Jedná se o povrch s navázanými anorganickými sloučeninami (např. železo, mangan, vápník atd.) a organické sloučeninami, (humínové látky, polysacharidy a proteiny atd.) Pokud jsou sloučeniny snadno rozložitelné, vede to k případnému růstu bakterií. [39]
3. Populační změny v biofilmu: Bakteriologické složení v biofilmu je závislé na daných okrajových podmínkách. To znamená, že při změnách dochází k populačním přesunům. To může hrát velkou roli v případě ukončení chlorování, kdy dochází k úmrtí některých bakterií. Odumřelé bakterie se mohou „rozložit“ ve vodě a sloužit jako substrát pro bakterie osídlující biofilm, což může vést k jejich zvýšenému růstu. Bod 3. a bod 2. objasňují procesy vypožorované měřením biofilmu, kdy je posílen růst bakterií bezprostředně po ukončení chlorace a také jejich následné snížení. [39]



4. Teplota: Bakteriologické procesy růstu jsou mimo živin také ovlivněny teplotou. Ve vodě bez chloru se při zvyšující teplotě zvyšuje tvorba biofilmu. Můžeme také předpokládat to, že při vyšší teplotě dojde ke špatnému vývoji v biofilmu a stabilizačních procesů. [39]
5. Koncentrace dezinfekčního prostředku při vypnutí chlorace: V místě dávkování chloru je tvorba biofilmu ovlivněna koncentrací zbytkového dezinfekčního činidla. Po ukončení chlorace je potřeba dostatek času k ustálení tvorby biofilmu. V případě, že v síti se převážně vyskytovala nízká koncentrace dezinfekčního činidla, tak i rozsah tvorby biofilmu bude menší („jeho stabilizace proběhne za kratší čas“). [39]
6. Průtok: Největší jakostní změny se dají očekávat v potrubích s malou rychlostí proudu. (Vysvětlením je, že při velké rychlosti dochází k rychlejšímu ředění vniknutých choroboplodných zárodků s čistou vodou) [39]

Při ukončení chlorace přicházejí v potaz všechny faktory, které jsou popsány výše. V částech, kde již byl chlor spotřebován, nebo měl velmi nízkou koncentraci, nejsou procesy v biofilmu dezinfekcí ovlivněny. Při ukončení chlorace se dle tohoto zdroje neočekávají výrazně zvýšené počty kolonií bakterií. [39]

### 4.3 POPIS METODIKY WATERRISK

V následující podkapitole je stručně popsána a vysvětlena metodika WaterRisk, který byla využita pro hodnocení faktorů ovlivňujících jednotlivé nežádoucí stavy.

#### 4.3.1 Terminologie

##### *Riziko (R)*

Je kombinací četností, nebo pravděpodobností vzniku specifikovaného nežádoucího stavu a jeho následků. [2]

V analýze rizik v systému zásobování vodou se rozlišují dva typy rizika:

- Kvalitativní riziko: riziko spojené s nevyhovující kvalitou dodávané vody
- Kvantitativní riziko: riziko nedodání vody v požadovaném množství, nebo tlaku. [2]

##### *Nežádoucí stav (NS)*

Je stav, kdy systém (objekt, prvek systému, produkt) ztratí svou požadovanou vlastnost, nebo schopnost plnit požadovanou funkci. Nežádoucí stav je doprovázen vznikem nežádoucích následků a je definován vždy pro konkrétní prvek systému. [2]

##### *Následek, důsledek (C)*

Je dopad způsobený vznikem nežádoucího stavu. Následky odpovídají jednotlivým kategoriím následků. [2]

### ***Kategorie následků (KN)***

Následky se dělí podle jejich povahy a podle subjektu, kterému následky vzniknou (odběratel, provozovatel, třetí osoba, životní prostředí). [2]

Základní kategorie následků jsou:

- Zdravotní následky,
- ekonomické následky,
- sociálně ekonomické následky,
- enviromentální následky.

Stanovení následků je předmětem analýzy následků, která zahrnuje i analýzu škod. Škody se analyzují ve stejných kategoriích jako následky. Pokud je u každého z parametrů možné vyjádřit následky peněžně, mohou být analýzy škod totéž co analýza následků. [2]

### **4.3.2 Metodika WaterRisk**

Jedná se o metodiku analýzy rizik veřejných vodovodů. Dle této metodiky se analýzou četností stanoví pravděpodobnost (P) s jakou se daný nežádoucí stav (NS) může vyskytnout. Pro každý NS je na základě jednotných pravidel stanovena speciální metodika pro určení pravděpodobnosti jeho vzniku. Pravděpodobnost a kritičnost NS je vyjádřena pomocí předem definované referenční stupnice, kde jsou nastaveny jednotlivé stupně hodnocení. Ty jsou v tomto případě označeny P0 (nulová pravděpodobnost výskytu) až P3 (vysoká pravděpodobnost výskytu). [2]

Pro každý NS jsou definovány faktory (F), které mohou ovlivnit pravděpodobnost jeho vzniku. Stanoví se mechanismus a podmínky jejich působení, fyzikální rozměr, použité jednotky, rozsah hodnot a hodnotící stupnice pro bodové hodnocení každého faktoru (1-3). Pro každý NS je stanovení oddělené. [2]

U každého faktoru se dle stanovených pravidel a nastavených mezí přiděluje bodové ohodnocení, které vyjadřuje míru závažnosti problému, který daný faktor vyjadřuje. Princip přidělování bodu je následující: [2]

- **1 až 3 b:** Konkrétní počet bodů přidělí hodnotitel dle závažnosti vlivu faktorů. Meze pro jednotlivé body 1,2 a 3 jsou většinou definovány slovně a jsou doporučené. Je na hodnotiteli, jak konkrétní situaci vyhodnotí a kolik bodů příslušnému faktoru přidělí. Ohodnocení se doplňuje slovním zdůvodněním. [2]

**Tabulka 5.1** Analýza četností – stupnice hodnocení rizikových faktorů [2]

<i>Hodnocení rizikových faktorů – slovní popis</i>	<i>Bodové ohodnocení</i>
Vysoká závažnost	3
Středně vysoká závažnost	2
Nízká závažnost	1

Po ohodnocení všech faktorů a přidělení bodů se stanoví  $S_c$  – celkové bodové skóre daného NS dle vztahu: [2]

$$S_c = \sum_1^n S_i, \text{ pro } i \in (1; n) \quad (4.1)$$

Kde:  $S_i$  .... je bodové hodnocení i-tého faktoru

$n$  .... je počet hlavních hodnocených faktorů v daném NS

Dále se stanoví  $S_{cmax}$  – maximální teoretický dosažitelný součet bodového skóre dle vztahu:

$$S_{cmax} = 3 \times n \quad (4.2)$$

Kde:  $n$  .... je počet hlavních F v daném NS

Dále se dle poměrů  $S_c/S_{cmax}$  provede zařazení na stupnici pravděpodobnosti vzniku P0 až P3 dle následující tabulky: [2]

**Tabulka 4.1** Analýza četností - referenční stupnice P0 až P3 pravděpodobnosti vzniku nežádoucího stavu [2]

<i>Poměr <math>S_c/S_{cmax}</math></i>	<i>Referenční stupnice pravděpodobnosti vzniku</i>		
$S_c/S_{cmax} = 0$	P0 – nulová pravděpodobnost		
$0 < S_c/S_{cmax} < 0,30$	P1 – nepravděpodobné (< 1x za rok)		
$0,30 < S_c/S_{cmax} < 0,60$	P2 – pravděpodobné (1x za týden až rok)		
$0,60 < S_c/S_{cmax}$	P3 – jisté (1x týdně a častěji)		
0 %	30 %	60 %	100 %
P1	P2	P3	

Při odhadování rizika je analýza následků NS nedílnou součástí a následuje hned po analýze pravděpodobností vzniku NS. Cílem je stanovení konkrétních následků jednotlivých NS a tyto následky se zařadí dle jejich rozsahu do referenčních hodnotících stupnic. Dle charakteru následků se rozlišují následující kategorie: [2]

- Zdravotní následky ( $C_{ZRD}$ ),
- ekonomické následky ( $C_{EKON}$ ),
- sociálně ekonomické následky ( $C_{SOC}$ ),
- environmentální následky ( $C_{ENV}$ ).

Všechny čtyři kategorie následků (KN) mají stejnou váhu a jsou si rovny. Ukazatel, který charakterizuje danou kategorii následků, je Kritérium. Lze jej změřit, odhadnout či jinak stanovit. Dle hodnotící stupnice se stanoví, zda jsou následky dle daného kritéria nízké, středně vysoké či vysoké. Následky se odhadují odděleně v jednotlivých kategoriích následků, dle hodnotící stupnice následovně: [2]

- C0 – žádné či nevýznamné následky – předpokládané následky NS jsou tak malé, že nedosáhnou ani hranic, která je stanovena pro nízké následky
- C1 – nízké následky
- C2 – středně vysoké následky
- C3 – vysoké následky

- N – nehodnoceno – v případě, že daná kategorie následků se nehodnotí, například z důvodu nedostatku vstupních informací.

Úrovně C1 až C3 jsou definovány pomocí kritérií a na jejich základě se hodnotí. Každá KN získá hodnocení dle svého nejhůře hodnoceného kritéria. [2]

U každého NS se stanoví čtyři kategorie následků plus jedna společná hodnota celková. Jednotlivé kategorie následků jsou si rovny, celková hodnota následků se stanoví následovně: [2]

$$C_{celk} = \max(C_{zdr}; C_{ekon}; C_{soc}; C_{env}) \quad (4.3)$$

Kde:  $C_{zdr}$ ,  $C_{ekon}$ ,  $C_{soc}$ ,  $C_{env}$  jsou dosažená hodnocení nejhůře hodnoceného kritéria v odpovídající kategorii následků. Zařazení dílčích kategorií následků  $C_{zdr}$ ,  $C_{ekon}$ ,  $C_{soc}$ ,  $C_{env}$  a celkových následků  $C_{celk}$  do referenčních hodnotících stupnic se provádí dle následující tabulky:

**Tabulka 4.2** Zařazení dílčích i celkových následků do referenčních hodnotících stupnic [2]

<i>Slovní hodnocení rozsahu následků</i>	<i>Referenční hodnotící stupnice</i>
Vysoké	C3
Středně vysoké	C2
Nízké	C1
Žádné či nevýznamné	C0
Kategorie nehodnocena	N

**Zdravotní následky** ( $C_{zdr}$ ) vyjadřují následky způsobené na zdraví a životech spotřebitelů způsobené požitím či jiným užíváním dodávané vody. K její kvantifikaci se používají ukazatelé stanovené vyhláškou č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví požadavky na vodu pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. V potaz se berou následky akutní i dlouhodobé. [2]

**Tabulka 4.3** Hodnotící stupnice zdravotních následků [2]

<i>Zdravotní následky – slovní hodnocení</i>	<i>Meze hodnotících kritérií</i>
C3 - vysoké	a) Prokazatelně dojde ke zhoršení organoleptických vlastností vody, voda se stane nepříjemnou pro větší počet spotřebitelů, nebo b) dojde k překročení limitu pro nouzové zásobování u chemického ukazatele NMH, nebo c) dojde k výraznému překročení limitu nebo k opakovanému překračování limitu u mikrobiologického ukazatele s NMH, nebo d) konzumace vody může způsobit onemocnění nebo úmrtí.
C2 – středně vysoké	a) Dojde ke zhoršení organoleptických vlastností vody, které zaregistruje velký okruh spotřebitelů, nebo b) dojde k překročení limitní hodnoty u chemického ukazatele s NMH, ale není překročen limit pro nouzové zásobování, nebo

	<p>c) dojde k překročení limitu pro nouzové zásobování u ukazatele s MH, nebo</p> <p>d) dojde k občasnému menšímu překročení limitu u mikrobiologického ukazatele s NMH.</p>
C1 - nízké	<p>a) Dojde ke zhoršení organoleptických vlastností vody, které zaregistruje menší okruh spotřebitelů, nebo</p> <p>b) dojde k překročení limitní hodnoty u ukazatele s MH, ale není překročen limit pro nouzové zásobování, nebo</p> <p>c) dojde k mírnému zvýšení hodnot chemického ukazatele s nejvyšší mezní hodnotou (NMH), ale ještě ne k překročení NMH.</p>

Kategorie **ekonomické následky** ( $C_{\text{ekon}}$ ), jsou následky, které vzniknou výhradně provozovateli SZV v důsledku vzniku nežádoucího stavu. Vyčísľují se penězi a zahrnují jak bezprostřední škody, tak i náklady nezbytné k uvedení systému do původního stavu a k nápravě škod. V této kategorii se nehodnotí škody třetím osobám. [2]

**Tabulka 4.4** Hodnotící stupnice ekonomických následků [2]

<i>Ekonomické následky – slovní hodnocení</i>	<i>Meze hodnotících kritérií</i>
C3 – vysoké	<p>Jednoduchý systém &gt; 200 000 Kč</p> <p>Komplexní systém &gt; 2 000 000 Kč</p>
C2 – středně vysoké	<p>Jednoduchý systém 40 000 - 200 000 Kč</p> <p>Komplexní systém 200 000 – 2 000 000 Kč</p>
C1 - nízké	<p>Jednoduchý systém &lt; 40 000 Kč</p> <p>Komplexní systém &lt; 200 000 Kč</p>

Komplexní systém a jednoduchý systém je definován ve zdroji č. 2: Analýza rizik veřejných vodovodů

Cílem kategorie **sociálně ekonomických následků** ( $C_{\text{soc}}$ ) je podchytit vnímání kvality poskytované služby z pohledu zákazníka (odběratele vody). Tyto následky se nevyčísľují penězi, ale pomocí kritérií v následující tabulce: [2]

**Tabulka 4.5** Hodnotící stupnice sociálně ekonomických následků [2]

<i>Sociálně ekonomické následky – slovní hodnocení</i>	<i>Meze hodnotících kritérií</i>
C3 – Vysoké	<p>a) přerušení dodávky na více než 2 dny přechod k náhradnímu zásobování pitnou vodou, nebo</p> <p>b) časté stížnosti odběratelů na nevyhovující organoleptické vlastnosti vody, nebo</p> <p>c) negativní reference v mediích</p> <p>d) přerušení dodávky citlivému odběrateli na dobu delší než 2 hodiny</p>
C2 – středně vysoké	<p>a) Přerušení dodávky vody na 12 h až 2 dny, zajištění náhradního zásobování vodou</p>

	(cisterny), částečné či úplné omezení provozu, nebo b) ojedinělé stížnosti odběratelů na jednorázové zhoršené organoleptické vlastnosti vody, nebo c) pokles hydrodynamického tlaku pod 0,25 (0,15) MPa na déle než 2 dny, nebo d) vyhlášení omezení zalévání zahrádek a napouštění bazénu
C1 - nízké	Přerušení dodávky vody do 12 h (standardní opravy vodovodních řadů)

**Environmentálními následky** jsou hodnoceny nežádoucí změny životního prostředí.

Posledním krokem z analýzy je kvantifikace rizika, což znamená sloučení analýzy četností a následků a následné ohodnocení rizika pomocí matice rizika. Riziko se stanoví dle vztahu: [2]

$$R = P \cdot C \quad (4.4)$$

Kde: R....riziko nežádoucího stavu (NS)

P....pravděpodobnost vzniku NS (zařazení P1 až P3)

C....následky vzniku NS (zařazení C1 až C3)

Riziko se získá průnikem sloupců a řádků v matici rizik.

Hodnotící stupeň		Následky		
		C1	C2	C3
Pravděpodobnost	P1	0 / 0 / 0 K1 - zanedbatelné	0 / 0 / 0 K2 - nízké	0 / 0 / 0 K3 - střední
	P2	0 / 0 / 1 K2 - nízké	0 / 0 / 0 K3 - střední	0 / 0 / 0 K4 - vysoké
	P3	0 / 0 / 2 K3 - střední	0 / 0 / 0 K4 - vysoké	0 / 0 / 0 K5 - velmi vysoké

**Obr. 4.1** Matice rizik [2]

## 4.4 NEŽÁDOUCÍ STAVY VODÁRENSKÉ SOUSTAVY PŘI PŘECHODU NA PROVOZ BEZ DEZINFEKČNÍHO ČINIDLA A OVLIVŇUJÍCÍ FAKTORY

V následující podkapitole jsou definovány jednotlivé nežádoucí stavy (NS), které mohou nastat při přechodu na zásobování pitnou vodou bez desinfekčního činidla a jejich následky. Dále jsou definovány faktory (F), které tyto nežádoucí stavy ovlivňují. K jednotlivým faktorům jsou sestaveny hodnotící stupnice dle metodiky WaterRisk. Nežádoucí stavy a jejich faktory jsou sestaveny do strukturovaného diagramu v příloze B.

### 4.4.1 NS 1 - Zvýšený počet kolonií

#### *Popis nežádoucího stavu*

Přírodní (i podzemní, velmi čistá a člověkem nedotčená) voda není sterilní, ale žijí v ní různé bakterie, pro člověka většinou naprosto neškodné. Nepříjemné může být pomnožení těchto bakterií do velmi vysokých počtů, ke kterému může dojít na některých místech distribuční sítě. Mikroorganismy obvykle rostou ve vodě a na površích v kontaktu s vodou jako biofilm.

Ukazatel počtů kolonií (při 22 °C nebo 36 °C) je indikátorem mikrobiologického oživení pitné vody. Počtem kolonií je myšlena skupinu tzv. heterotrofních (organotrofních) bakterií, které pro svůj růst potřebují zdroj uhlíku z organických látek. Stanovení heterotrofních bakterií jako tzv. psychrofilních a mezofilních bakterií se **nazývá stanovení počtu kolonií při 22 °C a 36 °C**. Heterotrofní kolonie představují díky zvoleným kultivačním metodám velmi široké spektrum bakteriálních druhů. Dominantními taxony tohoto spektra jsou *Acinetobacter* spp., *Aeromonas* spp., *Alcaligenes* spp., *Comamonas* spp., *Enterobacter* spp., *Flavobacterium* spp., *Klebsiella* spp., *Moraxella* spp., *Pseudomonas* spp., *Sphingomonas* spp., *Stenotrophomonas* spp., *Bacillus* spp., *Nocardia*, atypická *Mycobacterium* spp. a mnohé další. [30]

Tento ukazatel neposkytuje žádný přímý důkaz o přítomnosti choroboplodných zárodků a jeho zvýšená hodnota ve vodě není bezprostředně spojena s ohrožením lidského zdraví. [30]

Neexistuje žádný jasný důkaz, že heterotrofní bakterie mohou ohrozit veřejné zdraví, zvláště jsou-li požitý zdravými jedinci prostřednictvím pitné vody. Jedná se o všudypřítomné bakterie, mezi kterými člověk žije. Denně jich např. potravou přijímá do organismu vysoká, těžko odhadnutelná množství. Tyto počty jsou o několik řádů vyšší, než může být maximální příjem z pitné vody, a tato expozice nevede k žádným nepříznivým zdravotním účinkům. Pro některé druhy těchto bakterií byla díky pokusům na zvířatech i lidských dobrovolnících stanovena orální infekční dávka, kterou však nelze prakticky dosáhnout při konzumaci pitné vody:  $10^8$  -  $10^9$  KTJ (*Pseudomonas aeruginosa*); více než  $10^{10}$  KTJ (*Aeromonas hydrophilla*);  $10^4$  -  $10^7$  KTJ (*Mycobacterium avium*);  $10^6$  -  $10^9$  KTJ (*Xanthomonas maltophilia*). Riziko infekce z požití je nižší než 1:10 000. Zdravotní riziko může být spojeno s některými specifickými druhy těchto bakterií, které řadíme k oportunním patogenům. K oportunním patogenům řadíme např. následující druhy a rody: *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter* spp., *Aeromonas* spp., *Klebsiella* spp., atypická mykobakteria, *Legionella* spp. a další. Rizikový přitom není vstup těchto bakterií do zažívacího traktu, ale buď do traktu dýchacího, nebo přímý vstup do tkání otevřenými ranami či zavedenými katetry (u pacientů) apod. Podmínkou rozvinutí infekce je oslabená imunita jedince. Pokud jsou některé oportunně

patogenní mikroorganismy považovány za nutný předmět kontroly ve vodě, stanovují se přímo a specificky. Nelze jejich přítomnost vyvozovat ze stanovení počtů kolonií, které je nezachytí, ani nespecifikují (např. *mykobakteria* rostou velmi pomalu a nelze je vykultivovat během dvou či tří dnů jako se kultivují počty kolonií). [46,30]

Nejedná se tedy o ukazatel primárně zdravotní, ale provozní. Tento ukazatel totiž poskytuje užitečné provozní informace o stavu distribuční sítě a vnitřního vodovodu. Náhlý nárůst může znamenat varování před kontaminací jinými, závažnějšími mikroorganismy. Zvýšené počty kolonií mohou svědčit o problémech v různých částech systému zásobování pitnou vodou a mohou poukazovat na: [30]

1. Monitorování účinnosti filtrace a dezinfekce vody. Za filtraci se zde považuje nejen písková či membránová filtrace na úpravně, ale i různé druhy filtrů použitých v místě spotřeby. [30]
2. Monitorování (celkového) stavu, podmínek a změn distribuční sítě včetně domovních rozvodů vody. [30]
3. Vyšetřování příčin zhoršené organoleptické kvality vody, protože nárůst počtů kolonií může indikovat růst biofilmu a tvorbu produktů ovlivňujících sensoriku vody. [30]
4. Verifikace účinnosti čištění různých zařízení ve styku s vodou (např. nápojové automaty, různé lékařské prostředky apod.). [30]

K negativům výskytu vysokých počtů kolonií například patří:

1. vyšší riziko kažení potravin, kosmetických, nebo farmaceutických výrobků vyráběných (připravovaných) z vody o vysokém počtu kolonií, pokud voda není v průběhu přípravy převařena, nebo jinak dále upravena ultrafiltrací či dezinfekcí; [30]
2. Zkreslení výsledků mikrobiologického rozboru závažnějších ukazatelů – vysoké počty kolonií mohou být příčinou falešně negativních výsledků koliformních bakterií a *E. coli*, pokud jsou stanovovány plotnovou metodou. [30]

Nárůst bakterií zachycovaných metodou stanovení počtu kolonií je ve volné vodě velmi nízký a za normálních okolností neměřitelný, protože jakost vody ve vodovodní síti je významně determinována procesy v biofilmu vytvořeného na vnitřních plochách sítě. Praxe ukazuje, že udržování desinfekčního rezidua v distribuované vodě má nejen nežádoucí dopad na sensorickou a chemickou kvalitu vody, ale často je paradoxně i kontraproduktivní z hlediska mikrobiologického. Dle zkušeností pracovníků z berlínských vodáren došlo po několika týdnech po ukončení chlorování vody k trvalému snížení nalezených počtů kolonií v distribuční síti. [9]

## Následky

### CZDR zdravotní následky:

Neexistuje přímý důkaz ohrožení lidského zdraví. Zvýšené počty kolonií neposkytují důkaz o přítomnosti choroboplodných zárodků. Zvýšená hodnota není sama o sobě spojená s ohrožením lidského zdraví. [30]

### CEKON ekonomické následky:

Výdaje na proplachování a popřípadě chlorování potrubí.



### **Csoc sociálně ekonomické následky:**

Lze očekávat stížnost spotřebitelů na organoleptické závady vody způsobené zákalem či chutí.

### **CENV enviromentální následky:**

Nepředpokládají se environmentální následky

## **4.4.2 Faktory ovlivňující NS 1-Zvýšený počet kolonií v pitné vodě**

### ***F 1.1 - Formace biofilmu***

#### **NÁZEV FAKTORU: F 1.1 – Formace biofilmu**

**POPIS FAKTORU:** Biofilmy představují speciální formu bakteriální kolonizace v systému zásobování vodou. Tyto specifické formy určují biostabilitu mikrobiální komunity, jejich odolnost a uvolňování fytoplanktonu buněčných mikroorganismů do tekoucí vody. Biofilm mohou kolonizovat patogeny šířící se vodou, což znamená, že poskytuje jakýsi úkryt pro patogeny a tím pádem jsou odolnější vůči dezinfekci. [45] Biofilm je povrchová aktivní biologická vrstva, složená z mikroorganismů (slizotvorné bakterie, aj.) a jejich extracelulárních polymerních produktů, přichycená na povrchu nejrozličnějších podkladů v kontaktu s vodou. Důsledkem produkce extracelulárních polymerních substancí bakteriemi biofilm roste. Vytváří se velmi rozmanitá extracelulární matrice. Omezením transportu látek do spodních vrstev biofilmu se rychlost jeho růstu zastaví. Závažnost mikrobiálních biofilmů ve vodárnách spočívá zejména v možném výskytu patogenních organismů, např. *Legionella*, *Mycobacterium* a *Aeromonas* či pomnožení koliformních bakterií. Používané techniky dezinfekce jsou vůči bakteriím v biofilmu neúčinné. [25] Objem biofilmu je tvořen přibližně z 15 % buněk a 85 % extracelulární matrix. Buňky vytváří mikrokolonie, obklopené extracelulárním matrixem a propojené sítí kanálků. Proudění kapaliny uvnitř kanálků umožňuje efektivní cirkulaci živin, metabolitů a metabolickou spolupráci mezi buňkami. Výslednou strukturu ovlivňují faktory prostředí i biologické vlastnosti zúčastněných mikroorganismů. [34] Pokud je jakost vody stabilní, vytváří se rovnováha mezi procesy „nárůst bakterií v biofilmu“, „uvolňování bakterií do vody“ a „ukládání bakterií z vody na povrchy“. Rozhodující pro vývoj počtu kolonií ve vodě je stav biofilmu. Pokud je biofilm stabilní, uvolňují se z něj bakterie velmi málo. [9] S problematikou biofilmu souvisí nejen organoleptické závady pitné vody, ale i pozitivní nález toxinů a alergenů. Biofilmy je nutné sledovat na vstupu (přivaděči) surové vody do úpravně, v průběhu úpravy, ve vodárenských objektech a v rozvodných sítích. Tímto postupem se zajistí zdroj inokula, dynamika nárůstu, energie pro růst a metabolickou aktivitu mikroorganismů. [25]

#### **VLIVY NA FAKTOR:**

**Eutrofizace:** Ke tvorbě biofilmu dochází zejména u eutrofizovaných zdrojů, nebo cestou vzdušné kontaminace. [25]

**Vzdušná kontaminace:** Pokud v objektu vede stropem potrubí přímo ven do vegetace a není žádným způsobem kryté či zajištěné, nebo stěnou přímo nad hladinou s akumulovanou pitnou vodou vede otvor naprosto nekrytý, pak je stupeň znečištění vody při hladinové vrstvě a mocnost biofilmu v místě kolísání hladiny podstatně větší a biologicky závažnější, než v případě chráněných vstupů a zajištěného objektu vodojemu. Sledováním vodárenských

soustav byl podložen předpoklad negativního působení vzdušné kontaminace v prostorách akumulčních komor, které jsou často nezajištěné před vletem hmyzu či spadem prachu a dalšího částicovitého materiálu. Cestou vzdušné kontaminace dochází k tvorbě biofilmů, které bývají často velmi podceňovaným zdrojem organického substrátu. Ve vzorcích vody a ve stěrech ze smáčených ploch akumulčních nádrží vodojemů jsou nacházeny indikátory vzdušné kontaminace, např. konidie a hyfy mikromycet, škrob, pylová zrna, motýlí šupiny, ptačí peří, rostlinné a živočišné zbytky, trichomy rostlin, zbytky chitinu hmyzu či detritus s rozvíjejícími se vlákny bakterií. Tyto indikátory se významně podílejí na degradaci jakosti akumulované pitné vody tím, že jsou substrátem pro další troficky závislé mikroorganismy a podílejí se na spotřebě desinfekčního činidla. [35]

Teplotní výkyvy: Jsou-li v síti přítomny biologicky rozložitelné organické látky, má teplota zásadní vliv na rozvoj biofilmu. [8]

Zbytkové desinfekční činidlo: Nejvýznamnější vliv na vývoj počtu kolonií ve vodě má ukazatel zbytkové koncentrace desinfekčního prostředku, a to v případě, že tato koncentrace kolísá, nebo se provádí dočasná dezinfekce chlorem či oxidem chloričitým. Příčinou je změna aktivity bakterií v biofilmu. Jestliže se chlor používá jen dočasně, vede to v důsledku chemických reakcí oxidačního činidla mimo jiné také k vyšší aktivitě bakterií, pokud nejsou zcela usmrceny. Tím se mohou ve větší míře uvolňovat bakterie z biofilmu do vodní masy, což může vést k nárůstu počtu kolonií ve vodě. Stejný účinek na aktivitu bakterií mohou mít také výkyvy v koncentraci chloru. V důsledku reakce desinfekčního prostředku s organickými látkami může docházet k dodatečnému zvýšení asimilovatelného organického uhlíku, který tvoří tu část organického uhlíku ve vodě, kterou mohou využít bakterie v biomase jako potravu. Naopak při stabilních poměrech, stejně jako při provozování sítě bez desinfekčního prostředku, je úroveň počtu kolonií stabilní. Ukazuje se, že pokud je voda biologicky stabilní a potrubí je vyrobeno z vhodných materiálů nepodporujících růst bakterií, nemá délka zdržení vody významný vliv na pomnožování bakterií v síti. [9]

hydrodynamické podmínky v síti: smykové síly při proudění vody, které jsou zodpovědné za erozi a odlučování biofilmu [8]

**OPATŘENÍ:** Produkce biologicky stabilní vody, chudé na živiny, proplachování potrubí (odstranění sedimentů), pravidelné čištění vodojemů, zamezení vzdušné kontaminace, aj.

Zamezení vzdušné kontaminace: Jednoduchým a ekonomicky nenáročným způsobem zajištění větracích průduchů a prostupů je jejich osazení filtračními materiály (tkaniny, textilie, aj.). Použití filtračních materiálů je prokázána podstatná eliminace mikromycet a abiosestonu ve vzduchu přímo v objektu akumulční komory. I přesto, že výsledky biologických rozborů z vodojemů poukazují na špatně vyřešené odvětrání prostor a na špatný stavební stav objektů, bývá náprava zjištěných závad ze stran provozovatele činěna velmi málo. To může být způsobeno jednak špatnou ekonomickou situací, jednak neinformovaností. [35]

**Tabulka 4.6** Hodnocení faktoru formace biofilmu pro stanovení „P“ nežádoucího stavu zvýšený počet kolonií.

Hodnotící stupnice – slovní popis	Bodové skóre
<p>Přítomnost silné vrstvy starého biofilmu po celé smáčené ploše nádrže. Biofilm se po kusech odtrhává, <i>nebo</i> větrací otvory nejsou osazeny zařízením pro filtraci vzduchu. Vzduch nasávaný do akumulací nádrže není nijak filtrován, pouze mřížka proti ptákům, <i>nebo</i> ve stěně akumulací nádrže je nechráněný otvor, který ji bez dalších překážek propojuje s armaturní komorou nebo venkovním prostředím.</p>	3
<p>Přítomnost stabilního biofilmu ve vrstvě, která se neodlupuje. Pouze ve špatně dostupných místech (kouty, nedostupná místa za armaturami) je v zesílené odlupující se formě, <i>nebo</i> Bezpečností přeliv nemá zápachovou uzávěrku, vstupní dveře netěsní, filtrační vložka je děravá (např. v akumulací nádrži se nachází mrtvý hmyz).</p>	2
<p>Biofilm se vyskytuje v tenké souvislé vrstvičce nebo jen v příhladinové vrstvě smáčeného povrchu akumulace. Dopravovaná voda má však silný potenciál pro jeho další růst (biodegradabilní organický uhlík BDOC &gt; 0,3 mg·4l<sup>-1</sup>, teplota &gt; 12 °C), <i>nebo</i> Filtrační textilie nejsou pravidelně kontrolovány a měněny – kontrola minimálně 4x ročně, výměna podle potřeby.</p>	1

## F 1.2 - Biologická stabilita vody

**NÁZEV FAKTORU:** F 1.2 - Biologická stabilita vody

**POPIS FAKTORU:** Biologicky stabilní voda by měla obsahovat minimální koncentrace rozložitelných organických látek, aby ani při dlouhé době zdržení v distribuční síti, ani při vyšší teplotě aj. nedocházelo k růstu a rozmnožování mikroorganismů. Sekundární pomnožování mikroorganismů včetně potenciálně patogenních typů a tvorba biofilmů na vnitřním povrchu potrubí, na stěnách komor vodojemů a dalších zařízeních ve vodárenských rozvodných sítích i na úpravkách je považováno za projevy nedostatečné biologické stability vody. [24]

Biologická stabilita pitné vody je definována jako míra odolnosti pitné vody proti rozvoji mikroorganismů a tvorbě biofilmů při její výrobě, akumulaci a distribuci. [24] Také ji lze definovat pomocí biologicky rozložitelného rozpuštěného organického uhlíku (BDOC), což je část organického uhlíku ve vodě mineralizované heterotrofními organismy. Část biodegradabilního organického uhlíku přeměněné do buněčné hmoty a vyjádřené jako koncentrace uhlíku, je asimilovatelný organický uhlík (AOC).[25] Hodnota AOC<0,01 mg·l<sup>-1</sup>

je limitující pro rozvoj organotrofní mikroflóry. Mezní hodnota určující přechod mezi biologicky stabilní a biologicky nestabilní vodou je BDOC  $0,15 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  a dle jiného autora,  $0,5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ . [8]

Biologická stabilita vody může být ovlivněna dostupností základních živin pro bakterie. Základními živinami jsou uhlík, dusík a fosfor v poměru 100:10:1 (C:N:P). Ačkoliv uhlík je v upravené vodě přítomen ve formě huminových kyselin a fluvokyselin, cukrů, proteinů a karboxylových kyselin, může být často limitujícím prvkem růstu v rozvodné síti. Snížením obsahu uhlíku by měl být omezen opětovný růst v potrubí. [68] Hodnoty makronutrientů, které by neměly vliv na tvorbu biofilmu, činí dusík  $\text{N} < 0,1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  (ve formě amoniaku či dusičnanů) a fosfor  $\text{P} < 0,005 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  (fosfor celkový) [8]

**STANOVENÍ:** Ke studiu biologické stability vody (a příp. tvorby biofilmů) se používají varianty mikrobiologických testů založených na stanovení rozložitelného organického uhlíku, nebo jeho podílu (asimilovatelného využitelného pro tvorbu biomasy). [35] Stanovením BDOC (biodegradibilního podílu rozpuštěného organického uhlíku) lze kvantifikovat stabilitu vody. Jako nejvhodnější měřítko biologické stability pitné vody v distribuci byla zvolena rychlost tvorby biofilmu (Biofilm formation rate BFR). Hodnoty  $\text{BFR} < 10 \text{ pg ATP/cm}^2 \cdot \text{den}$ . [69]

### VLIVY NA FAKTOR:

Vodárenský zdroj a jeho povodí: Obsah rozložitelných organických látek a živin v povrchovém zdroji surové vody je ovlivněn stupněm saprobity a trofie daného povodí. Průnikem do upravené vody například vodních květů sinic, různých planktonních organismů a postupným rozkladem této biomasy v rozvodné síti je zvyšován obsah rozložitelného substrátu. Omezení tohoto vlivu je možné včasnou a účinnou likvidací bodových a plošných zdrojů znečištění a eutrofizace ve vodárenských povodích. [32]

Technologické stupně vodárenské úpravy: Jedním z hlavních faktorů ovlivňujících biologickou stabilitu upravované vody je bujení nárostů na smáčených plochách různých zařízení jako jsou vtokové objekty, různé jímky na trase surové vody až do úpravárenských objektů. Ze živých i rozkládajících se mikroorganismů se do vody dostávají různé extracelulární produkty, většinou snadno rozložitelné organické látky, využitelné jako substrát pro destruenty-bakterie a mikromycety. Další přísun organického substrátu do objektů ÚV může být ze vzdušné kontaminace (rostlinné a živočišné zbytky, pylová zrna, různé výtrusy, spory atd.). Četné mikroorganismy se mohou pomnožovat i v nánosech vloček koagulantu, v nedokonale vypíraných pískových ložích vodárenských filtrů, v sedimentech vznikajících v obtížně odkalitelných prostorech různých objektů apod. [32]

Správným provozováním a pravidelnou údržbou vodárenských zařízení je možno omezení tohoto vlivu. Zvýšenou pozornost je třeba věnovat i provozním vodárenským chemikáliím, zejména organickým pomocným flokulantům. [32]

Distribuční síť: ke snižování biologické stability pitné vody může docházet vyluhováním rozložitelných organických látek z různých konstrukčních materiálů, nátěrů, tmelů apod. [32] Bakterie mohou přijímat živiny přímo z potrubí, armatur a tvarovek. Většina plastů není biologicky rozložitelná, ale pojiva a plastifikátory, které se vyluhují z epoxypřyskyřic, mohou být pro bakterie zdrojem uhlíku. Bakterie mohou také získávat stopové prvky z oceli a kovových součástí. Pokud by měla bakterie ideální podmínky, dělila by se každých 20 minut, což nemůže být v čisté pitné vodě realizováno, neboť jsou limitovány prostorem a dostupností živin. Avšak i velmi malý obsah živin a kyslíku může podporovat růst bakterií. [70] Dalším ovlivněním může být i vzdušná kontaminace u VDJ a přerušovacích komor. [32] Biologická stabilita je ovlivněna faktory, které souvisejí s: [35]

1. Charakterem distribuční sítě: [35]

- a) Stáří a materiál potrubí,
- b) velikost zásobované oblasti,
- c) doba zdržení,
- d) hydraulické poměry,
- e) provoz a údržba.

2. Charakterem distribuované pitné vody: [35]

- a) jakost surové vody (dle vyhlášky č. 428/2001 Sb., vyhláška Ministerstva zemědělství, kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů),
- b) technologickým uspořádáním vodárenské linky.

Biologickou stabilitu lze ovlivnit použitím biologicky stabilních materiálů, omezením sekundární kontaminace u VDJ, správnou funkčností filtračních sítěk větracích otvorů, zamezením přístupu k volné hladině, dodržením správných hygienických požadavků aj.

**OPATŘENÍ:** Úprava podzemní vody provzdušněním a pískovou filtrací je obvykle dostatečná k dosažení biologicky stabilní pitné vody s úrovní AOC pod  $0,01 \text{ mgC} \cdot \text{l}^{-1}$ . Povrchová voda vyžaduje rozsáhlejší úpravu. Procesy tvořící bariéru proti vzniku biologicky rozložitelných látek jsou například filtrace přes GAU, pomalá písková filtrace s fyzikálními a chemickými procesy úpravy, jako je koagulace, sedimentace a oxidace. Použije-li se v úpravárenských procesech ozonizace, AOC je formován z větších organických sloučenin. Pak je nutná dvoustupňová filtrace k dosažení biologicky stabilní vody. AOC je degradován (rozložen) v prvním stupni a v druhém stupni je odstraněna biomasa a zbytky (to co se nezachytilo) z prvního stupně. Biologické filtrační procesy mohou snížit AOC a BDOC o 80 %. Na přítoku k biologickým filtrům je třeba se vyhnout chloru. Kontaktní časy pro ozonizaci jsou takové, že žádný reziduální ozon se nedostane k filtraci. Účinek membránové filtrace na biologickou stabilitu vody závisí na typu membrány v kombinaci s vlastnostmi vody. [29]

Mikrobiální růst v pitných vodách může být také regulován dostupností fosforu. Přírodní obsah fosforu v pitných vodách je nízký, v řádu tisícín  $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$  v podzemních vodách a v povrchových okolo  $0,1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ . V některých případech výrobci pitné vody přidávají fosforečnany do vody v rámci úpravy vody z důvodu protikorozních a protiinkrustačních účinků solí kyseliny fosforečné. Poté se koncentrace fosforu mohou pohybovat v řádu tisíců  $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ .

**Tabulka 4.7** Hodnocení faktoru biologická stabilita vody pro stanovení „P“ nežádoucího stavu:

Hodnotící stupnice – slovní popis	Bodové skóre
BDOC $> 0,30 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ <i>nebo</i> $25 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} < (\text{NO}_3)^- < 50 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ <i>nebo</i> úprava vody s využitím sloučenin fosforu,	3
$0,15 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} < \text{BDOC} \leq 0,30 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$	2

nebo $0,1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} < (\text{NO}_3)^- \leq 25 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$	
BDOC $\leq 0,15 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ nebo $(\text{NO}_3)^- \leq 0,1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$	1

P- celkový fosfor

### F 1.3 - Doba zdržení vody v síti

**NÁZEV FAKTORU:** F 1.3 - Doba zdržení vody v síti

**POPIS FAKTORU:** Kvůli nižším odběrům vody se distribuční sítě staly předimenzovanými, pitná voda se v nich zdrží i několik dní. Opakovanými biologickými audity vodárenských soustav bylo zjištěno, že zdržení vody v potrubí negativně ovlivňuje mikrobiální kvalitu vody, projevuje se koroze smáčeného pláště potrubí a jsou nacházeny částice a mikroorganismy, které se do pitné vody dostaly zřejmě sekundárně. [35] Na druhou stranu, pokud je voda biologicky stabilní a potrubí je vyrobeno z vhodných materiálů nepodporujících růst bakterií, nemá délka zdržení vody významný vliv na pomnožování bakterií v síti. [9] Ke stagnaci může docházet buď během normálního provozu v částech sítě, kde je jen nepravidelný sezónní provoz, anebo ve vodojemech. Hlavní příčinou je předimenzování jak potrubí, tak i akumulčních nádrží, což je důsledkem malých odběrů a nečerpání vody. Z důvodů nízké rychlosti spojené s menšími odběry dochází k akumulaci kalů a sedimentů (organické hmoty a mikroorganismů) ve spodních částech systému a bakterie zde mají vhodné podmínky pro seskupování a tvorbu biofilmu. Stagnaci vody lze hodnotit z celkové doby dotoku.

**STANOVENÍ:** Hydraulická analýza sítě.

**VLIVY NA FAKTOR:** Předimenzované potrubí, předimenzovaná kapacita akumulčních nádrží, sezónní a nepravidelný odběr.

**OPATŘENÍ:** Optimalizování distribuční sítě. Ideální rychlost průtoku vody ve vodovodním potrubí se pohybuje v rozmezí  $0,5\text{--}1,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , při této rychlosti je nejmenší tvorba biofilmu. Doba dotoku závisí na rychlosti proudění a vzdálenosti zdroje vody od koncového spotřebitele (distribuce přes příváděcí řady, vodojemy, čerpací stanice, distribuční síť). Pokud voda od zdroje ke spotřebiteli dorazí za méně než 24 hod, může se předpokládat, že voda v potrubí nestagnuje. [60]

**Tabulka 4.8** Hodnocení faktoru doba zdržení vody v síti pro stanovení „P“ nežádoucího stavu:

Hodnotící stupnice – slovní popis	Bodové skóre
Doba dotoku vody k přípojce > 48 hodin	3
Doba dotoku vody k přípojce 30–48 hodin	2
Doba dotoku vody k přípojce 24–30 hodin	1

## ***F 1.4 - Přítomnost sedimentu na dně potrubí a akumulční nádrže***

**NÁZEV FAKTORU:** F 1.4 - Přítomnost sedimentu na dně potrubí a dně akumulční nádrže

**POPIS FAKTORU:** Typicky se jedná o jílovité materiály, které se do potrubí dostávají s vodou z (přetěžovaného) podzemního zdroje bez filtrace. [31] Dále se může jednat o zbytky pocházející z odlupovaného biofilmu a produktů koroze. V litinových potrubích je těžko rozlišitelné, zda se jedná o sediment, anebo korozní produkt. [1] V důsledku nedostatečného proudění vody se tyto částice usazují ve vodojemu, nebo se usazují až v potrubí, na jehož stěnách tvoří vrstvu jemných sedimentů. Sedimenty na dně vytváří podmínky pro množení mikroorganismů, což společně se samotnou přítomností sedimentů zhoršuje kvalitu dopravované vody. Hydraulickým rozvířením sedimentů může docházet k jejich strhávání proudem vody dále do systému. Limitním stavem je přítomnost tak silné vrstvy sedimentů, že dochází ke zhoršení organoleptických ukazatelů kvality distribuované vody během jejího zdržení v akumulaci nebo k provozním komplikacím (např. ucpávání řadu či ucpávání odtoku z akumulční nádrže). [31] Sedimenty a produkty koroze chrání mikroorganismy před dezinfekčním prostředkem, [1] z toho důvodu je namísto používání desinfekčního činidla také důležité pravidelné proplachování sítě a vhodná údržba.

**VLIVY NA FAKTOR:** Samotná tvorba sedimentu je způsobena zejména nevhodnými vlastnostmi dopravované vody, dlouhou dobou zdržení vody v akumulaci a příliš dlouhými intervaly čištění akumulční nádrže. Sedimenty se mohou do vody dostávat z betonové konstrukce nádrže, anebo se může jednat o biologický materiál pocházející ze vzduchu – vzdušná kontaminace (zbytky trav, prach, atd.) V potrubí jemný sediment vzniká korozí kovových povrchů, rozpadem biofilmů a inkrustů či doběhem chemických procesů z úpravny vody. Případně může docházet ke vnosu částic z vnějšího prostředí při opravách, průnikem z okolního horninového prostředí netěsnostmi potrubí (podtlak-přísátí), nebo mohou být tyto částice přítomny v dopravované vodě, která do vodovodní sítě vstupuje. Nevyhovujícími hydraulickými podmínkami, a to rychlostí proudu vody menší než  $0,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , dochází k výraznému ulpívání jemných částic z vody na stěnách i dně potrubí. Čím je proudění pomalejší, tím je tlustší vrstva sedimentů. [31]

- Vzdušná kontaminace,
- činnost mikroorganismů,
- způsob provozování,
- údržba,
- nevhodné vlastnosti dopravované vody,
- nevyhovující směry proudění,
- bludné proudy, koroze,
- stárnutí materiálu a změna jeho vlastností,
- špatný technický stav objektu, potrubí, armatur,
- nevhodné technické parametry zařízení,
- rychlost proudění vody.

**STANOVENÍ:** Přítomnost, objem a tloušťku vrstvy jemných sedimentů v potrubí nelze v provozu prakticky nijak kvantitativně měřit. Provozní praxe vychází z počtu stížností odběratelů na kalnou vodu, kterým přizpůsobují periodicitu odkalování. [31]

**OPATŘENÍ:** Opatření v provozu, která mohou vést ke snížení hromadění sedimentu v síti.

1. Optimalizace úpravy vody, aby se minimalizoval vnos částic do sítě.
2. Použití dostatečně vysoké rychlosti proudění v distribuční síti, což vede k „samočištění sítě“.
3. Pravidelné proplachování sítě za určitých podmínek. [29]
4. Čištění akumulčních nádrží vodojemu minimálně 1x za 2 až 3 roky. Dáno provozním řádem.

### HODNOCENÍ FAKTORU:

**Tabulka 4.9** Hodnocení faktoru přítomnost sedimentu na dně potrubí a dně akumulční nádrže pro stanovení „P“ nežádoucího stavu (metoda FMECA):

Hodnotící stupnice – slovní popis	Bodové skóre
<p>Zdroj je často přetěžovaný, dochází k sufozi a k zákalové události, která se dostává až do akumulace nebo distribuční sítě, hodnota zákalu na vstupu do vodovodní sítě je <math>ZF \geq 5</math>,</p> <p><i>nebo</i></p> <p>síť je zhotovena z kovových materiálů, výskyt koroze, zejména se jedná o potrubí z oceli s neupraveným vnitřním povrchem v provozu &gt;20 let bez údržby a oprav, nebo s úpravou povrchu (pozinkování, vystýlka) s dobou provozu více než 60 let. Ke korozi výrazně přispívá dopravovaná voda nevhodných chemických vlastností <math>pH &lt; 6,5</math>, nebo <math>Ca + Mg &lt; 1,5 \text{ mmol} \cdot l^{-1}</math> [31]</p> <p><i>nebo</i></p> <p>síť nebyla proplachována (odkalována) více než 3 roky a akumulční nádrž nebyla čištěna více jak 10 let</p> <p><i>nebo</i></p> <p>proudění vody o rychlosti <math>\leq 0,1 \text{ m} \cdot s^{-1}</math></p>	3
<p>Ojedinele je zdroj přetěžovaný, dochází k sufozi a k zákalové události, která se dostává až do akumulace nebo distribuční sítě, hodnota zákalu na vstupu do vodovodní sítě je <math>3 \leq ZF &lt; 5</math></p> <p><i>nebo</i></p> <p>příliš dlouhý filtrační cyklus, špatná funkce filtru, je používána železitá sůl jako koagulant a jeho zbytky jsou obsaženy v upravené vodě,</p> <p><i>nebo</i></p> <p>síť nebyla proplachována (odkalována) víc jak 1 rok a akumulční nádrž nebyla čištěna více jak 5 let</p>	2
<p>Pravidelné odkalování sítě min 2x ročně (řízené proplachování), Odkalování a čištění akumulčních prostor minimálně 1krát za 3 roky. Úprava vody pomocí filtrů., <math>ZF \leq 3</math></p> <p>proudění vody o rychlosti <math>&gt; 0,25 \text{ m} \cdot s^{-1}</math></p>	1



### ***F 1.5 - Koncentrace volného chloru před ukončením jeho dávkování***

**NÁZEV FAKTORU:** F 1.5 - Koncentrace volného chloru před ukončením jeho dávkování

**POPIS FAKTORU:** V důsledku změny koncentrace desinfekčního činidla může docházet ke změnám v biofilmu. Je tomu tak proto, že v těch částech vodovodní soustavy, v nichž se až dosud ve vodě nacházel volný desinfekční prostředek, dochází po ukončení chlorování k přebudování biofilmu. Následkem toho se po dobu několika týdnů, než se vytvoří stabilní biofilm, mohou z povrchů do vodní masy ve zvýšené míře uvolňovat bakterie a ve vodě je možné naměřit zvýšené počty kolonií. [9] Po ukončení chlorace je potřeba dostatek času k ustálení tvorby biofilmu. Pokud v síti bývala často nízká koncentrace zbytkového desinfekčního činidla, bude i stabilizace probíhat kratší čas. [39]

**VLIVY NA FAKTOR:** Ovlivnění biofilmu chlorem nastává v případě kolísání dávky chloru, kdy v síti není udržováno stejné reziduum, ale dochází ke kolísání koncentrace. Tzn. v případě, že dávkování neprobíhá kontinuálně a automaticky.

#### **HODNOCENÍ:**

**Tabulka 4.10** Hodnocení faktoru koncentrace volného chloru před ukončením jeho dávkování pro stanovení „P“ nežádoucího stavu:

Hodnotící stupnice – slovní popis	Bodové skóre
Voda opouští akumulaci s koncentrací volného chloru $c(\text{Cl}) > 0,2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$	3
Voda opouští akumulaci s koncentrací volného chloru $0,05 < c(\text{Cl}) < 0,2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$	2
Voda opouští akumulaci s koncentrací volného chloru $c(\text{Cl}) < 0,05 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$	1

### ***F 1.6 - Teplota vody***

**NÁZEV FAKTORU:** F 1.6 – teplota vody

**POPIS FAKTORU:** Teplotní výkyvy, k nimž dochází v síti, ovlivňují za jinak stabilních podmínek vývoj počtu kolonií jen nevýznamně. [9] Ne vždy je stabilních podmínek dosaženo, lze tedy říct, že teplota nad 15-20 °C podporuje růst většiny ve vodě přítomných heterotrofních bakterií [30], pokud jsou dostupné biologicky rozložitelné organické látky. [8] Aktivita bakterií se zvyšuje o 100 % při nárůstu teploty o 10 °C. [1] Ve vodě bez chloru se při zvýšené teplotě zvyšuje tvorba biofilmu, lze také předpokládat, že při vyšší teplotě může dojít ke špatné tvorbě biofilmu a stabilizačních procesů, tím pádem se mohou uvolňovat bakterie do vody. [39] Doporučená hodnota vyhláškou č. 252/2004 Sb. je 8 °C až 12 °C.

**VLIVY NA FAKTOR:** Povětrnostní podmínky a celkové oteplení zdroje, nedostatečné krytí akumulačních prostor, nedostatečné krytí vodovodu, blízkost tepelného zdroje (např. vodovodní potrubí pitné vody v blízkosti teplovodu, nedodržení minimálních vzdáleností při souběhu), dlouhá doba zdržení.

**OPATŘENÍ:** Snaha o biologicky stabilní vodu.

## HODNOCENÍ:

**Tabulka 4.11** Hodnocení faktoru teplota vody pro stanovení „P“ nežádoucího stavu:

Hodnotící stupnice – slovní popis	Bodové skóre
Teplota vody v potrubí $> 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a současně $\text{BDOC} > 0,30\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$	3
Teplota $15\text{ až }20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a současně $\text{BDOC} > 0,30\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$	2
Teplota $< 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ a současně $\text{BDOC} < 0,30\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$	1

### F 1.7 - Materiál

#### NÁZEV FAKTORU: F 1.7 – Materiál

**POPIS FAKTORU:** Materiály, které jsou v kontaktu s vodou, mohou podporovat mikrobiální růst. Těmito materiály jsou nátěry, těsnění, potrubní materiál a některé látky používané k úpravě vody, například koagulant nebo filtrační materiál. Řada materiálů ve styku s upravenou vodou může podporovat růst oportunních patogenů např., *Legionella* a *Mycobacteria*. [1] Materiály, které přichází do styku s pitnou vodou při úpravě nebo distribuci, musí být v souladu s vyhláškou č. 409/2005 Sb. o hygienických požadavcích na výrobky přicházející do přímého styku s vodou a na úpravu vody. Mělo by se jednat o materiály nevyvolávající živiny.

**VLIVY NA FAKTOR:** Stárí potrubí, používání inhibitoru koroze fosforečnanu sodného

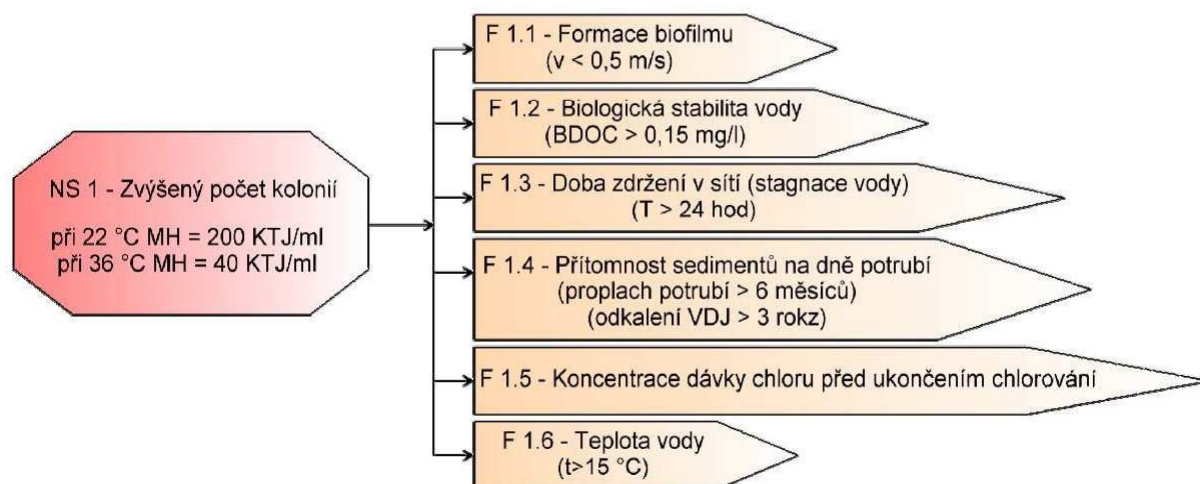
**STANOVENÍ:** Ve Velké Británii se materiály, které přichází do kontaktu s vodou testují na MDOD test (mean dissolved oxygen difference). Při hodnotách MDOD nad  $2,3\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  jsou považovány za nevhodné materiály pro kontakt s vodou. V Německu se stanovuje množství slizu na povrchu materiálu. V Nizozemsku se stanovuje biomasový produkční potenciál (BPP). Typické hodnoty BPP pro neměkčený PVC je menší než  $100\text{ pg ATP/cm}^2$ . Hodnoty větší než  $10\,000\text{ pg ATP/cm}^2$  pro některé plasty a pryžové těsnění. Reaktivní kovové povrchy, jako je litina, také posílí růst mikroorganismů. [1] V ČR jsou podmínky dány vyhláškou 409/2005 Sb., o hygienických požadavcích na výrobky přicházejícími do přímého styku s vodou a na úpravu vody.

## HODNOCENÍ:

**Tabulka 4.12** Hodnocení faktoru materiál pro stanovení „P“ nežádoucího stavu:

Hodnotící stupnice – slovní popis	Bodové skóre
Potrubí z litiny nebo z oceli, značně zkorodované. nebo časté používání inhibitoru koroze na bázi soli kyseliny fosforečné	3
Litina s vnitřním povlakem z cementové malty. nebo občasné použití inhibitoru koroze na bázi soli kyseliny fosforečné	2
potrubí zhotoveno z plastů	1

Následující *obrázek 4.2* je diagram prvního nežádoucího stavu a faktorů, které jej ovlivňují.



**Obr. 4.2** Diagram 1 NS-Zvýšený počet kolonií

#### 4.4.3 NS 2 - Výskyt koliformních bakterií

##### *Popis nežádoucího stavu*

Existují tři skupiny koliformních bakterií. Každá z nich je ukazatelem jakosti pitné vody a každá má jinou míru rizika.

1. Celkové koliformy je velká skupina (sbírka) různých typů (druhů) bakterií.
2. Fekální koliformy jsou podskupinou celkových koliformů.
3. *E. Coli* je podskupinou fekálních koliformních bakterií.

Laboratoře testují přítomnost celkových koliformů, jestliže jsou koliformy přítomné, testuje se vzorek také na přítomnost *E. Coli*. [49]

Celkové koliformy jsou bakterie běžně přítomné v prostředí, například v půdě, vegetaci, a jsou obecně neškodné. V případě, kdy laboratoře zjistí přítomnost pouze celkových koliformů, jejich zdrojem je s největší pravděpodobností přírodní prostředí, fekální kontaminace je v tomto případě nepravděpodobná. Nicméně, pokud se přírodní znečištění mohlo dostat do systému, mohou se do něj dostat také patogeny. Proto je důležité najít a vyšetřit zdroj kontaminace. [49]

Fekální koliformy existují ve střevech lidí a zvířat a vyskytují se ve fekáliích. Bakterie *E. Coli* je podskupinou fekálních koliformů, většina bakterií *E. Coli* jsou neškodné. Nicméně, některé druhy mohou způsobovat závažná onemocnění. Přítomnost *E. Coli* ve vzorku pitné vody indikuje čerstvé fekální znečištění, což znamená větší riziko přítomnosti závažnějších patogenů. Bakterií *E. Coli* se dostává mnoho mediální pozornosti. Konkrétní kmen *E. Coli* O157:H7 způsobuje většinu ohnisek nákazy. Avšak je-li ve vzorku pitné vody označena přítomnost *E. Coli*, neznamená to nutně tento kmen O157:H7, nicméně to poukazuje na nedávné fekální znečištění. Vařením nebo dezinfekcí lze v kontaminované vodě zničit všechny kmeny bakterie *E. Coli*. [49] Výskyt *E. Coli* je popsán jako samostatný nežádoucí stav viz kapitola 4.4.4 NS 3 - Výskyt *E. Coli* níže.

Koliformy a termotolerantní koliformy bývají detekovány častěji v akumulacích nebo v místech na síti, než ve vodě opouštějící úpravnu, což je známkou toho, že může docházet ke vniku malého množství fekální kontaminace během distribuce. Opakovaná detekce termotolerantních koliformních bakterií se nejčastěji vyskytují v akumulacích. Vzhledem k době zdržení a nečistotám v akumulaci to není překvapující. [1] V některých případech z praxe v Německu a u nás, například vodovod Mladá Boleslav, byly po snížení množství přidávaného desinfekčního prostředku, nebo po úplném ukončení dezinfekce naměřeny ve vzorcích vody odebrané v síti koliformní bakterie. Příčinou tohoto jevu je, že v důsledku chlorování docházelo k zastírání technických problémů, např. závad na vodojemech, ventilačních systémech atd. Po odstranění technických problémů bylo následně možné dezinfekci ukončit. [9]

**Řešení:** Nastalá situace vyžaduje zpravidla okamžitý zásah provozovatele. Situaci lze napravit přechlorováním nebo chlorováním vody. Když se však kontaminace vody nezjistí včas, dojde k překročení limitů MH, voda ztrácí příslušnou jakost. Dodávka vody nemusí být přerušena.

V pitné vodě určené k hromadnému zásobování se požaduje nepřítomnost koliformních bakterií minimálně ve 100 ml (mezí hodnota). Pokud dojde ke zjištění koliformních bakterií a jejich opětovnému potvrzení, provozovatel by měl najít a prošetřit jejich zdroj. K usmrcení koliformů může být použito desinfekčního činidla, například chlorováním sítě a jejího propláchnutí.

### *Následky*

#### **C<sub>ZDR</sub> zdravotní následky:**

Celkové koliformy ve většině případů jsou neškodné.

#### **C<sub>EKON</sub> ekonomické následky:**

Náhrada ušlého zisku snížením odběrů spotřebitelů, investice do proplachování a chlorování potrubí.

#### **C<sub>SOC</sub> sociálně ekonomické následky:**

Nedůvěra spotřebitelů, poškození jména provozovatele, zhoršení organoleptických vlastností vody z důvodů hygienizace chlorem a od toho se odvíjející stížnosti spotřebitelů.

#### **C<sub>ENV</sub> enviromentální následky:**

Nepředpokládají se environmentální následky

### *F 2.1 - Porušení fyzické a hydraulické integrity vodovodního systému*

**NÁZEV FAKTORU:** F 2.1 - Porušení fyzické a hydraulické integrity vodovodního systému

**POPIS FAKTORU:** Fyzická integrita distribučního systému je jeho schopnost působit jako fyzická překážka, která zabraňuje průniku vnější kontaminaci do systému. Jedná se o schopnost systému odolávat vnějšímu a vnitřnímu namáhání. Viz kapitola 1.2.2 Fyzická integrita.

Kombinace fyzické a hydraulické integrity distribuční sítě poskytuje dvojitou bariéru proti znečištění pitné vody v průběhu distribuce. Aby byl umožněn průnik nečistot do sítě, musely by být prolomeny obě dvě bariéry ve stejném místě a čase a nečistoty by musely být přítomny v blízkosti sítě. Ztráta tlaku je porušení ochrany, která by mohla mít za následek zpětný tok,

nebo vniknutí nečistot v důsledku netěsností spojů. Příčiny trvalé ztráty tlaku jsou opravy, poruchy, výpadky energie. Také krátká (několik sekund až minut) přechodná reakce s nízkým nebo negativním tlakem byla prokázána jako příčina kontaminace. Tyto události mohou být způsobeny odstávkami čerpadla nebo hlavními uzávěry nebo použitím hydrantu, hlavními opravy nebo výpadek proudu u čerpadla. Nečistoty mohou vstoupit do sítě i přes malé úniky vody v potrubí, netěsnosti spojů, těsnění a ponořené vzduchové ventily. [1] Netěsnostmi vodovodního potrubí nedochází pouze k únikům vody, ale při podtlakové události může dojít k přísátí znečištění z okolí. Koliformní bakterie mohou být fekálního nebo environmentálního původu vyskytující se v hlíně.

**VLIVY NA FAKTOR:** Fyzická integrita závisí na stárnutí distribuční soustavy a jejím obnovování, zahrnuje stav potrubí, hydrantů, ventilů, pomocných čerpadel, desinfekčních stanic, rezervoárů, přípojek aj. K porušení hydraulické integrity, a to vznikem podtlaků (přechodových jevů), přispívá rychlost uzavření ventilů, umístění vzdušníku, provoz čerpadel. Nejčastěji jsou podtlakové situace spojovány s výpadky proudu, nebo při jiném odstavení čerpadla. [46]

### HODNOCENÍ:

**Tabulka 4.13** Hodnocení faktoru porušení fyzické a hydraulické integrity vodovodního systému pro stanovení „P“ nežádoucího stavu:

Hodnotící stupnice – slovní popis	Bodové skóre
ztráty vody > 30 % a současně ztráta přetlaku <i>nebo</i> může dojít k porušení stropní izolace u akumulární nádrže a průsaku povrchové vody při deštích <i>nebo</i> stáří potrubí > 45 let <i>nebo</i> opravy řadu provedena neodbornou firmou, před zprovozněním se neprovádí dezinfekce a propláchnutí.	3
ztráty vody se pohybují od 20 % do 30 % a současně se vyskytují ojedinělé ztráty přetlaku	2
ztráty vody < 10 % <i>nebo</i> nepravděpodobný výskyt ztrát přetlaku. <i>nebo</i> jsou prováděny pravidelné kontroly akumulárních nádrží, nemělo by dojít k průsaku povrchové vody.	1

## F 2.2 - Teplota vody

### NÁZEV FAKTORU: F 2.2 – teplota vody

**POPIS FAKTORU:** Teplotní výkyvy, k nimž dochází v síti, ovlivňují za jinak stabilních podmínek vývoj počtu kolonií jen nevýznamně. [9] Ne vždy je stabilních podmínek dosaženo, lze tedy říct, že teplota nad 15-20 °C podporuje růst většiny ve vodě přítomných heterotrofních bakterií [30], pokud jsou dostupné biologicky rozložitelné organické látky [8] Aktivita bakterií se zvyšuje o 100 % při nárůstu teploty o 10 °C. [1] Ve vodě bez chloru se při zvýšené teplotě zvyšuje tvorba biofilmu, lze také předpokládat že při vyšší teplotě může dojít ke špatné tvorbě biofilmu a stabilizačních procesů, tím pádem se mohou uvolňovat bakterie do vody. [39] Doporučena hodnota vyhláškou č. 252/2004 Sb. je 8 °C až 12 °C.

**VLIVY NA FAKTOR:** Na počátku 20-tého století bylo zjištěno možné rozmnožování a růst koliformních bakterií v pitné vodě. Byl zjištěn růst mikroorganismů v sedimentech v distribuční soustavě, hlavně v letním období. Koliformní bakterie se mohou množit i při nízké koncentraci substrátu, podmínky ovlivňující růst jsou dostupnost substrátu, teplota vody, přítomnost koroze, přítomnost sedimentů a obsah zbytkového desinfekčního činidla. Dle literatury byla hodnota teploty vody 15 °C označena jako kritická pro růst koliformních bakterií. [1] Vlivy mohou být způsobeny, povětrnostní podmínky a celkové oteplení zdroje, nedostatečné krytí akumulacních prostor, nedostatečné krytí vodovodu, blízkost tepelného zdroje (např. vodovodní potrubí pitné vody v blízkosti teplovodu, nedodržení minimálních vzdáleností při souběhu), dlouhá doba zdržení.

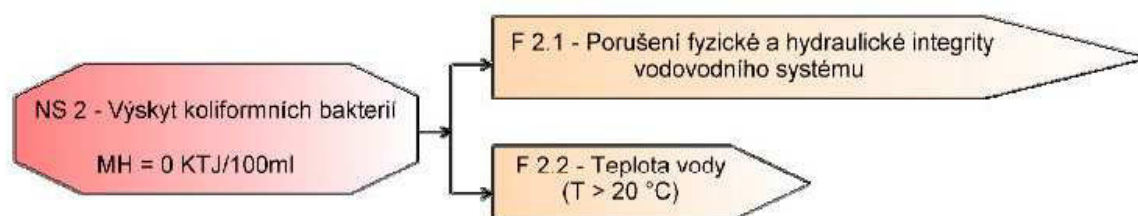
**OPATŘENÍ:** Snaha o biologicky stabilní vodu.

### HODNOCENÍ:

**Tabulka 4.14** Hodnocení faktoru teplota vody pro stanovení „P“ nežádoucího stavu:

Hodnotící stupnice – slovní popis	Bodové skóre
Teplota vody v potrubí $\geq 20$ °C	3
$15 \leq$ Teplota vody $< 20$ °C	2
Teplota $< 15$ °C	1

Následující *obrázek 4.3* je diagram druhého nežádoucího stavu a faktorů, které jej ovlivňují



**Obr. 4.3** Diagram 2 NS-Výskyt koliformních bakterií

#### 4.4.4 NS 3 - Výskyt E. Coli

##### *Popis nežádoucího stavu*

E. Coli je podskupinou koliformních bakterií. Žije ve velkých počtech ve střevech lidí a zvířat. Ve většině případů je zcela neškodná. Existují však i patogenní kmeny (např. *Escherichia coli* O157:H7), které byly příčinou řady epidemií z pitné vody s velmi vážnými následky. [3] Přítomnost E. Coli v pitné vodě je indikátorem čerstvého fekálního znečištění. E. Coli je velmi citlivá na chlor, dokáže ji inaktivovat i malá koncentrace reziduálního chloru. V chlorovaných systémech může proto docházet k zastírání problému na sítích a k neodhalení výskytu rezistentnějších patogenů, jak již bylo zmiňováno výše. V nechlorovaných systémech je E. Coli hlavním indikátorem, že je se sítí něco v nepořádku.

Nastálá situace vyžaduje zpravidla okamžitý zásah provozovatele. V případě, kdy se znečištění včas podchytí, lze situaci napravit přechlorováním nebo chlorováním vody. Když se však kontaminace vody nezjistí včas, dojde k překročení limitů NMH a je nutné odstavení zdroje.

##### **Opatření proti vniku E. Coli:**

Kombinace fyzické a hydraulické integrity distribuční sítě poskytuje dvojitou bariéru proti znečištění pitné vody v průběhu distribuce. Aby byl umožněn průnik nečistot do sítě, musely by být prolomeny obě dvě bariéry ve stejném místě a čase a nečistoty by musely být přítomny v blízkosti sítě. Ztráta tlaku je porušení ochrany, která by mohla mít za následek zpětný tok, nebo vniknutí nečistot v důsledku netěsností spojů. Příčiny trvalé ztráty tlaku jsou opravy, poruchy, výpadky energie. Také krátká (několik sekund až minut) přechodná reakce s nízkým nebo negativním tlakem byla prokázána jako příčina kontaminace. [1]

##### **Řešení:**

Situace vyžaduje okamžitý zásah provozovatele, a to okamžitým odstavením zdroje. Zjištění místa vniku kontaminace. (Podtlak na síti v kombinaci s poruchou na vodovodním potrubí...viz ovlivňující faktory.)

##### *Následky*

##### **CZDR zdravotní následky:**

*Escherichia coli* ve většině případů může být neškodná, avšak mohou se vyskytnout i patogenní kmeny jako například *Escherichia coli* O157:H7, která má za následek vyvolání epidemií šířených pitnou vodou. U spotřebitelů se mohou vyskytnout krvavé průjmy nebo hemolyticko-uremický syndrom, který bývá smrtelný (postiženými bývají spíše malé děti, kterým selže činnost ledvin). [3]

##### **CEKON ekonomické následky:**

Náhrada ušlého zisku, snížení obrátu a zisku vodárenské společnosti, nutnost investice do náhradního zásobování, do vyčištění vodního zdroje či do proplachování a chlorování potrubí. Odškodné postiženým spotřebitelům.

##### **Csoc sociálně ekonomické následky:**

Přerušování dodávek vody a tím způsobená nedůvěra spotřebitelů, poškození jména provozovatele, zhoršení organoleptických vlastností vody z důvodů zvýšené koncentrace chloru a od toho se odvíjející stížnosti spotřebitelů. Během čištění řadu je nutno zajistit

náhradní zásobování. Při propuknutí epidemie z pitné vody hrozí negativní reference v médiích

#### **C<sub>ENV</sub> enviromentální následky:**

Nepředpokládají se environmentální následky

### **4.4.5 Faktory ovlivňující NS 3 - E. Coli v pitné vodě**

#### ***F 3.1 - Porušení fyzické a hydraulické integrity vodovodního systému***

**NÁZEV FAKTORU:** F 3.1 - Porušení fyzické integrity vodovodního systému

**POPIS FAKTORU:** Fyzická integrita distribučního systému je jeho schopnost působit jako fyzická překážka, která zabraňuje průniku vnějších kontaminací do systému. Jedná se o schopnost systému odolávat vnějšímu a vnitřnímu namáhání. viz kapitola 1.2.2 *Fyzická integrita*. Jakýkoliv kontaminant může do vodovodního systému vstoupit při podtlakové události.

Netěsnostmi vodovodu nedochází pouze k únikům vody, ale při podtlakové události může dojít k přísátí znečištění z okolí. Ke kontaminaci pak může dojít v místech, kde je vodovod v souběhu s nedostatečně těsnou kanalizací, černá skládka, hnojiště aj.

**VLIVY NA FAKTOR:** Fyzická integrita závisí na stárnutí distribuční soustavy a jejím obnovování, zahrnuje stav potrubí, hydrantů, ventilů, pomocných čerpadel, desinfekčních stanic, rezervoárů, přípojek aj.

Norská studie vyhodnotila riziko gastrointestinálního onemocnění po přerušení dodávky vody, nebo po údržbářských pracích na síti. Výsledkem bylo zvýšené riziko akutního onemocnění zažívacího traktu. Jako potenciální riziko bylo definováno pronikání znečištění vody při poklesu tlaku. Nejčastějšími příčinami byly poruchy a uniky na potrubí, dále výměna armatur nebo potrubí a zbytek zahrnovalo čištění potrubí, stavební práce v blízkosti potrubí atd. Větší polovina z epizod nebyla plánovaná poruchy potrubí. [51]

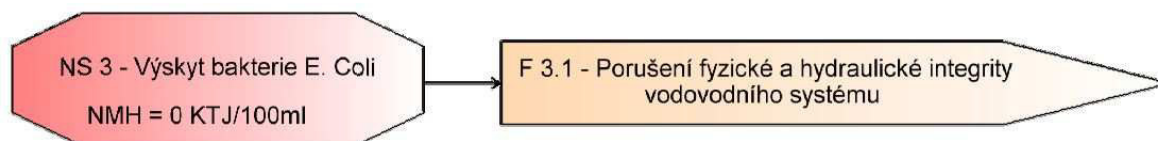
#### **HODNOCENÍ:**

**Tabulka 4.15** Hodnocení faktoru porušení fyzické a hydraulické integrity vodovodního systému pro stanovení „P“ nežádoucího stavu:

Hodnotící stupnice – slovní popis	Bodové skóre
ztráty vody > 30 % a současně ztráta přetlaku <i>nebo</i> může dojít k porušení stropní izolace u akumulární nádrže a průsaku povrchové vody při deštích <i>nebo</i> opravy řádů provedena neodbornou firmou, před zprovozněním se neprovádí dezinfekce a propláchnutí.	3
ztráty vody se pohybují od 20 % do 30 % a současně se vyskytují ojedinělé ztráty přetlaku	2



<p>ztráty vody &lt; 10 %</p> <p><i>nebo</i></p> <p>nepravděpodobný výskyt ztrát přetlaku.</p> <p><i>nebo</i></p> <p>jsou prováděny pravidelné kontroly akumulčních nádrží nemělo by dojít k průsaku povrchové vody</p>	<p>1</p>
--	----------



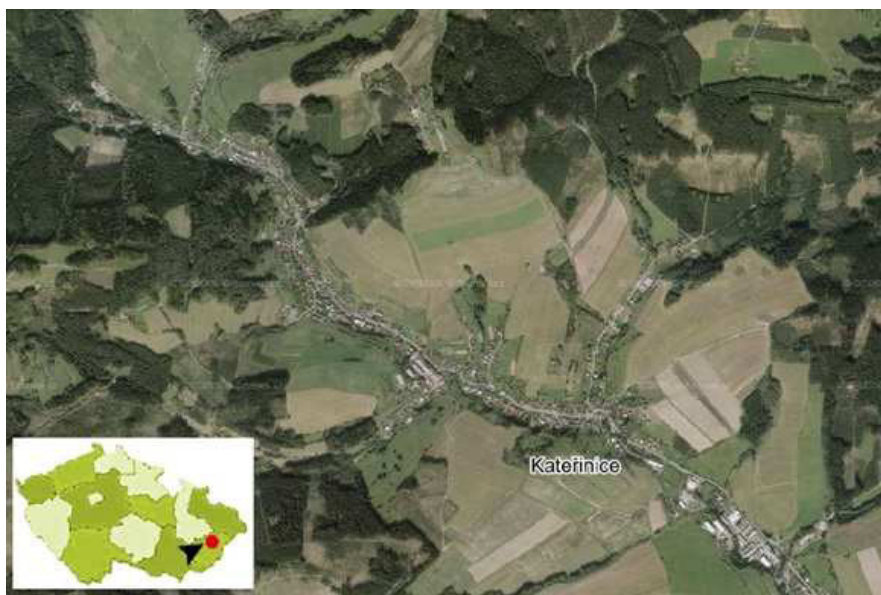
**Obr. 4.4** Diagram NS 3-Výskyt bakterie *E. Coli*.

## 5 PŘÍPADOVÁ STUDIE–VODOVOD OBCE KATEŘINICE

V následující kapitole je popsán vodovodní systém obce Kateřinice. Jsou zde rozebrány jednotlivé části systému, a to zdroj vody, úprava vody a distribuční síť. Také jsou zde uvedeny fotografie se slovním popisem dokumentující technický stav systému. Na závěr kapitoly je úvaha o možnosti zásobování pitnou vodou bez chemické dezinfekce této obce.

### 5.1 OBEC KATEŘINICE

Obec Kateřinice se nachází v Hostýnských vrších severozápadně od města Vsetín. Jedná se o podhorskou vesnici o nadmořské výšce cca 390 m n. m. Rozloha katastru je 1338 ha, obec je členitá se soustředěnou zástavbou kolem hlavní silnice. [47]



Obr. 5.1 Obec Kateřinice [72]

### 5.2 SYSTÉM ZÁSOBOVÁNÍ PITNOU VODOU

#### 5.2.1 Zdroj vody

Zdrojem vody pro obec Kateřinice je jímána povrchová voda z přítoku do potoka Kateřinka v lokalitě Pod Vrtaným. Od roku 2012 byl tento zdroj rozšířen o lokalitu U Kolena z důvodu rozkolísanosti vydatnosti v letních měsících. Jímání surové vody je provedeno dvěma skružovými studnami o hloubce 3 až 6 metrů, do kterých je zaústěna plastová perforovaná trubka z jímacího zářezu. Jímací zářez je vytvořen perforovaným potrubím uloženým v drátovodu ve dně vodoteče. Potrubí v korýtku drátovodu je obsypáno štěrkem a zakryto betonovým víkem drátovodu. Celé korýtko je ještě obsypáno hrubým záhozem do výšky 30 cm nad víko drátovodu. Délka zářezu u první studny tvoří cca 10 m a u studny druhé cca 8 m. [53]



**Obr. 5.2** *Pohled do studny*

Voda, která není vodovodem spotřebována, odtéká přelivem do vodoteče. První jímací zařízení se studnou je oploceno v rozsahu PHO I. stupně. Druhé jímací zařízení se studnou je oploceno v rozsahu PHO II. stupně. [53]

PHO I. zahrnuje plochu kolem studní v šířce cca 15 m. Na tomto území jsou provedeny vhodné vegetační úpravy (zatravnění a vysazení dřevin) pro zamezení splachů. PHO I. stupně má rozsah oplocení na potoku Kateřinka o rozměru 20 x 18 m a 15 x 30. Oplocení je provedeno drátěným pletivem s ocelovými sloupky, druhá část PHO I. stupně není oplocena (pruh 0 m široký a 200 m dlouhý pro každou studni). Oplocené PHO I. je vyňato z lesního půdního fondu a je ve vlastnictví provozovatele vodovodu, tj. Obce Kateřinice. [53]

PHO II. navazuje kolem studní a přítoku PHO I. stupně a vytyčuje se dle místních podmínek do vzdálenosti 2 až 5 km od hranice PHO I. stupně tak, aby byla zabezpečena ochrana toku před přímým znečištěním. PHO II. stupně území je vymezené rozvodnicemi drobného hydrologického povodí potoka Kateřinka, které se táhne ve vzdálenosti 100 až 1 200 m potoka s tím, že severozápadní hranice pásma je ukončena na kopci Čechetkov – Dubcová, na východě horním koncem Kateřinice. Nejvzdálenější hranice PHO II. stupně ve směru proti proudu od místa odběru je cca 160 m. PHO II. stupně je provedeno umístěnými tabulemi na všech přístupových cestách do pásma. [53]

Z jímacích studní odtéká voda do armaturní šachty potrubím PVC DN 100. Armaturní šachta je podzemní velikosti 3,0 x 2,7 m. Je provedena z armovaného betonu. Šachta je vytažena nad okolní terén, obsypána a její poklop je opatřen zámkem. V šachtě je osazeno uzavírací šoupátko na spojném potrubí, což je začátek přívodního řadu. Přívodní řad do úpravní vody a vodojemu je z potrubí PVC DN 150. [53]



**Obr. 5.3** *Armaturní šachta*

## ***Technický stav a funkčnost ochranných bariér***

Z obrázku 5.2 *Pohled do studny*, je patrný dobrý technický stav studní (ŽB skruže a perforovaného potrubí), které jsou bez známky koroze a mechanického poškození. To však nelze říct o armaturní šachtě, kde potrubí a tvarovky jsou zatopeny a napadeny korozí.

Lze říci, že zdroj má funkční ochranné pásmo, které je tvořeno lesem. V okolí toku se nevyskytují zemědělsky obhospodařované plochy, ani se nepředpokládá antropogenní vliv. V přední části je zdroj ohraničen oplocením a uzamčeným vstupem. Avšak je zde umožněn přístup lesní zvěře do bezprostřední blízkosti toku a může dojít ke kontaminaci zdroje vody smyvem exkrementů. Tento problém by šel vyřešit vhodně zvolenou technologií úpravy vody s doplněním zdravotního zabezpečení UV lampou.

Nelze však říct, že by jímací zařízení mělo dobře provedené obsypy, neboť pravidelně každé léto dochází k zákalovým událostem. Nedokonalým obsypem a mělkým jímáním vody by mohlo dojít k vniknutí potenciálního mikrobiologického znečištění, které by se mohlo dostat do toku smyvem z okolních ploch.

Studna, odkud je voda čerpána, je v dobrém technickém stavu, je zabezpečena proti vniknutí hlodavců, hmyzu, spadaneho listů aj.

Lze konstatovat, že bariéru zdroje tvoří pouze ochranné pásmo a dobrý technický stav studny. Za předpokladu opravy jímacího zařízení a vhodnou volbou technologie úpravy vody by se mohla považovat bariéra zdroje za vyhovující.

### **5.2.2 Úpravna vody a akumulace**

Úpravna vody leží v prostoru hájenky v horní části obce nad místní zástavbou. Celý areál úpravy vody je oplocen. Úpravna vody má dva prostory a to zadní, kde jsou osazeny pomalé pískové filtry, a přední prostor. V přední části je v suterénu umístěna akumulární nádrž. [53]

Do ÚV voda přitéká gravitačně. Jedná se o jednostupňovou úpravnu, která je tvořena třemi pomalými pískovými filtry. Filtry mají plochu 3,6 x 6,6 m, z nichž jsou v provozu pouze dva z důvodu předimenzování ÚV. Dle původního projektu měla být před filtry osazena usazovací nádrž s dávkováním koagulantu, který by eliminoval zákal vody, který se vyskytuje při vydatnějších deštích. Dle původního projektu měl být zákal vody také řešen osazením zákaloměru, který při větším zákalu měl odtok přesměrovat do odpadního potrubí, což také nebylo realizováno. Filtry jsou tvořeny filtračním pískem uloženým na drenážním šterku. Jsou zde umístěny potrubní děrované rošty, které slouží k odběru filtrované vody a k rozdělování prací vody. Zanášení filtrů se projevuje vzestupem hladiny. Délka filtrační fáze bývá v létě 3 až 6 týdnů a v zimě 7 až 12 týdnů. Praní filtru je ukončováno vizuální kontrolou do té doby, než odtéká čistá voda. [53]

Upravená voda z filtru odtéká do akumulární nádrže. Akumulární nádrž je jednokomorová o obsahu 150 m<sup>3</sup> a je přístupná z chodby, která je mezi filtry a akumulární nádrží. V akumulaci je přeliv DN 200 a na dně akumulace je umístěno čerpadlo praní filtru. V akumulární nádrži je voda zdravotně zabezpečována pomocí chlornanu sodného dávkovacím zařízením. Takto upravená voda je gravitačně dopravována odtokovým potrubím DN 100 do spotřebiště. Na odtokovém potrubí je umístěn vodoměr DN 80 a potrubí pro odběr vzorků. Horní tlakové pásmo obce je pod tlakem této akumulární nádrže, dolní část obce je pod tlakem přerušovacího vodojemu 2 x 15 m<sup>3</sup>. Přerušovací vodojem je dvoukomorový, monolitický, jedná se o typový vodojem. Ve VDJ dochází k přerušování tlaku pro potřebu dolního tlakového pásma obce. VDJ je oplocený. [53]

## ***Technický stav a funkčnost ochranných bariér***

Úprava vody je zabezpečena oplocením a uzamčeným vstupem proti vniknutí nepovolaných osob a zvířet. Stáří úpravy vody je okolo 27 let (1987). Personálem je technický pracovník obce, který je řádně proškolen.

**Filtry:** Přístup k filtrům je zajištěn ocelovou lávkou, na které je zřetelná silná koroze. Ve stěně je vadně zapojený ventilátor, není zde zajištěna bezpečná filtrace vzduchu. V prostoru filtrů je viditelný drolící se beton přepážek a vystupující výztuž napadená korozí. Korozí je také napaden přívodní kovový žlab. Volba otevřeného pískového filtru poskytuje větší riziko druhotné kontaminace než volba filtru tlakového. Proces filtrace nedokáže odstranit často se vyskytující zákalové události, které pronikají až do sítě. Praní filtru není stanovováno na základě hydraulické ztráty, zafiltrování není stanovováno na základě měření zákalu, ale na základě odhadu technického pracovníka.



**Obr. 5.4** *Pohled na pískové filtry, viditelná koroze přívodního žlabu a poškozená betonová konstrukce přepážek.*

**Akumulační nádrž:** V prostorách před akumulací nádrží (chodba) je viditelná opadaná omítka a vliv vlhkosti projevující se plísní. Silnou korozí jsou zasaženy zárubně, žebřík i držák na chemikálie. Jak je patrné z *obr. 5.4 Pohled na vstup do akumulací nádrže*, vstup do akumulací nádrže je řešen bezprahově, čímž může docházet k pronikání znečišťujících částic na volnou hladinu, například prachu, pylu, plísně, částic z koroze, omítky, pavučiny apod. Na dně akumulací nádrže se vyskytují sedimenty a na stěnách je zřetelný biofilm. Hygienické zabezpečení chlornanem sodným je aplikováno za „nějaké“ časové intervaly, nikoliv v závislosti na průtoku.





**Obr. 5.5** *Pohled na vstup do akumulční nádrže, vlevo viditelná silná koroze zárubní a bezprahové řešení vstupu, vpravo dávkovač chlornanu sodného.*

V úpravně nejsou pravidelně prováděny čistící a uklízečí práce (dezinfekce podlahy, odstranění pavučin, apod.).

Lze konstatovat, že bariéru ÚV tvoří pouze oplocení a uzamčený vstup proti vandalismu či sabotáži. Aby byla bariéra funkční, účelná a přispívala do multibariérového systému ochrany, muselo by dojít k rekonstrukci úpravní vody, a to zejména: protikorozní opatření v akumulční nádrži a filtrů, osazení filtračních textilií do větracích otvorů, osazení prahů pod dveřmi akumulace a filtrů a změna technologie úpravy vody (např. koagulace, filtrace, UV lampa).

V současnosti nelze považovat bariéru úpravní vody za funkční a účelnou, a to z důvodu možného rizika mikrobiologické či biologické kontaminace z více míst a nedostatečné úpravy vody.

### 5.2.3 Vodovodní potrubí

Materiál vodovodního potrubí je v celé délce spotřebišť PVC DN 150 a DN 80. Celková délka vodovodní sítě je 8,57 km. Na vodovodní síti jsou osazeny pouze hydranty podzemní DN 80, plní funkci jak požární, tak funkci vzdušníku. Také jsou využívány k odkalování a proplachování potrubí. Řízený proplach potrubí byl proveden pouze jednou, a to v roce 2013.

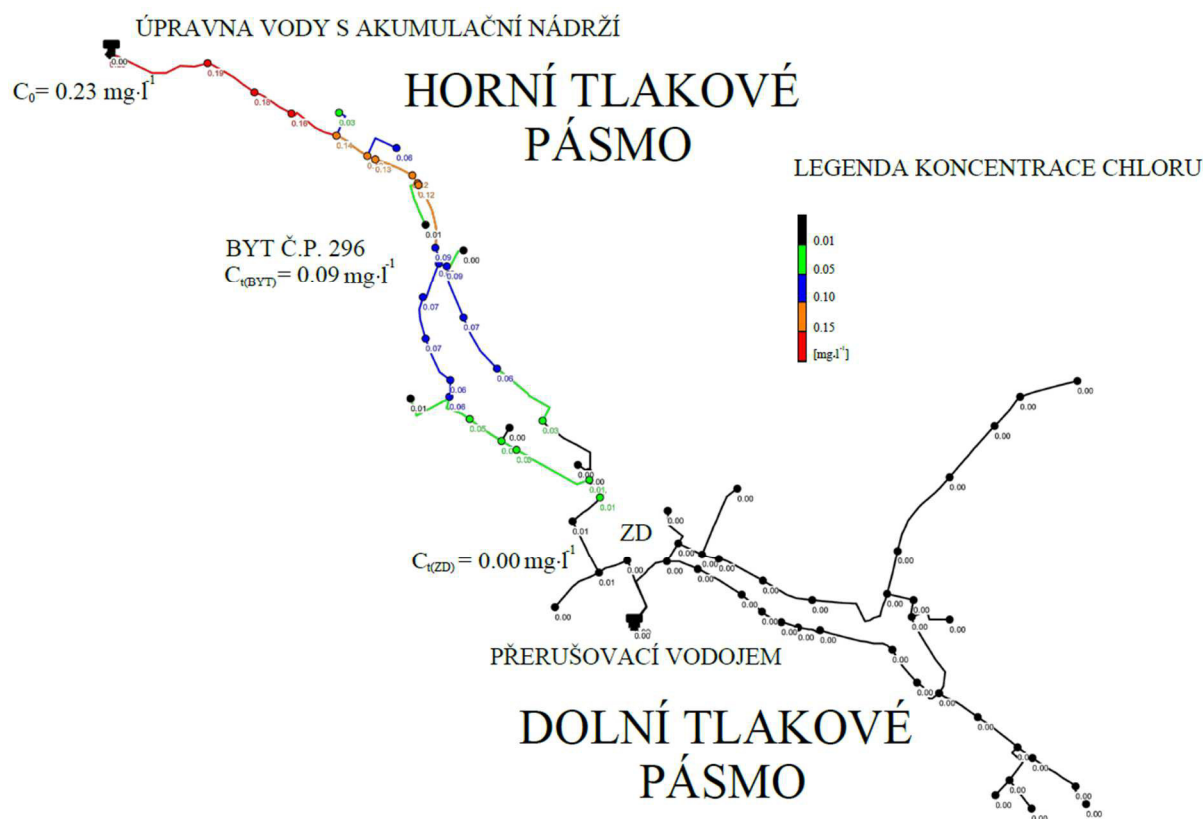
#### *Technický stav a funkčnost ochranných bariér*

Vodovodní síť je zhotovena celá z PVC potrubí, starší potrubí HTP je okolo 29 let a DTP 27 let, čemuž by měl odpovídat dobrý stav.

Předimenzováním systému je způsobena nižší rychlost proudění vody, kdy může docházet k sedimentaci jemných částic, které vnikly do vodovodu skrz filtraci na úpravně vody. K sedimentaci může docházet zejména v době minimálního odběru, například během nočních průtoků. V době, kdy je zvýšen odběr vody, dojde k větším rychlostem v síti, a tím pádem k rozvíření a transportu sedimentů, jež mohou být živnou půdou pro bakterie, a způsobí zákalovou událost. Problémy, které trápí odběratele a taktéž provozovatele, jsou zákal a pach

vody. Dalším problémem, který trápí zvláště provozovatele, jsou ztráty vody. Ztráty vody za rok 2015 činí cca 28 % z vody vyrobené. Tlakové poměry v síti jsou téměř stabilní, nedochází k velkému kolísání tlaků. Ideální rychlost průtoku vody ve vodovodním potrubí se pohybuje v rozmezí  $0,5\text{--}1,2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , při této rychlosti je nejmenší tvorba biofilmu. Ze simulace rychlosti je patrné, že toto rozmezí rychlosti není v potrubí dosaženo a síť je značně předimenzovaná. Průměrná rychlost v HTP je  $0,07\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a v DTP  $0,03\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  při maximálním denním průtoku. Tím může docházet ke stagnaci vody, což je optimální pro rozvoj biofilmu a bakterií. Dle hydraulické analýzy je doba zdržení vody v síti delší než 24 hodin. Poruchovost v roce 2012 činila v HTP  $0,12\text{ počet poruch}\cdot\text{km}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$  a v DTP  $0,00\text{ počet poruch}\cdot\text{km}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ . Průměrná poruchovost pro celý vodovodní systém je  $0,06\text{ počet poruch}\cdot\text{km}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$  [81]

Následující *obrázek 5.6* zobrazuje model vodovodní sítě obce, lze vidět dávkovanou koncentraci chloru, která se pohybuje okolo  $0,23\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , zhruba uprostřed HTP je koncentrace snížena na hodnotu cca  $0,09\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  a na konci HTP a celé DTP je zásobováno bez přítomnosti zbytkového desinfekčního činidla. Spotřeba chloru je zapříčiněna reakcí chloru se stěnami potrubí a s dalšími složkami obsaženými ve vodě.



**Obr. 5.6** Spotřeba chloru před proplachem [71]

Lze říct, že z důvodu stálého přetlaku a žádného kolísání tlaku, nízké poruchovosti by bariéra distribuční sítě mohla být dostačující. Její nedostatky tvoří pouze velmi malá rychlost, která může ovlivňovat tvorbu biofilmu a větší ztráty vody, které mohou být způsobeny netěsnostmi potrubí.

Na závěr lze konstatovat, že vodovodní systém obce Kateřinice není provozován s multibariérovou ochranou. Do tohoto přístupu nepřispívá úprava vody. Zdroj vody a distribuční síť mají pouze malé nedostatky. Z těchto a výše zmíněných důvodů není obci doporučeno v současné době za těchto podmínek upustit od dezinfekce, neboť tato dezinfekce tvoří aspoň malou ochranu před kontaminací (např. *E. Coli* či koliformních bakterií.)

## 6 ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývala možnostmi provozování pitné vody bez aplikace dezinfekčního činidla. V první části práce byly popsány zdokumentované příklady systémů, které nepoužívají dezinfekční činidlo při výrobě ani při distribuci pitné vody. V České republice je příkladným systémem zásobování pitnou vodou bez dezinfekčního činidla Mladá Boleslav, zásobující cca 60 000 spotřebitelů, u nás se jedná o největší vodovodní systém se zmíněným provozem. Dále to jsou menší vodovodní systémy jako Přelouč, Vrbka, Soběnov aj. Nejvýznamnějšími zahraničními příklady jsou Německo, které navrhlo strategii pro přechod na zásobování pitnou vodou bez dávkování chloru, a Nizozemsko, které definovalo přístup provozovatelů pro zásobování pitnou vodou bez dezinfekčního činidla.

Německá strategie přechodu na zásobování vodou bez použití dezinfekčního činidla uvádí 3 možné situace, a to první je zásobování při naprosté absenci dezinfekce jak chemické, tak fyzikální. To může být možné pouze v případě, je-li k dispozici dobře chráněný podzemní zdroj. Předpokladem je, že voda vstupuje do distribučního systému splňující mikrobiologické a biologické požadavky dané vyhláškou 252/2004 Sb. a síť neposkytuje vhodné podmínky pro opětovný růst. Druhou situací je vyřazení dodatečné chlorace, která může být uskutečněna tehdy, když voda po dezinfekci splňuje mikrobiologické požadavky a v síti jsou takové podmínky týkající se rychlosti proudění vody, množství sedimentů, koncentrace biologicky rozložitelného uhlíku aj., že není zapotřebí udržování dezinfekčního rezidua. Poslední situací je, že dojde k nahrazení chemické dezinfekce nebo zdravotního zabezpečení UV dezinfekcí.

Dále byl v diplomové práci podrobně rozebrán vliv dezinfekčního činidla chloru na mikrobiologickou jakost vody. Bylo zjištěno, že koncentrace chloru, která se udržuje ve vodovodních systémech v České republice, nemůže zabránit sekundární mikrobiologické kontaminaci, a to z důvodu, že rezistence patogenů v distribuční síti na chlor se výrazně liší. Chlor dokáže inaktivovat pouze indikátorové bakterie jako jsou *E. Coli* nebo koliformní bakterie, neboť se jedná o mikroorganismy citlivé na chlor. Bylo zjištěno, že při běžně se vyskytující reziduální koncentraci chloru okolo hodnoty  $0,1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  dojde k inaktivaci *E. Coli*, zatímco *Clostridium perfringens* tato hodnota neovlivní. Provozovatelé by se neměli spoléhat na chlor obsažený v pitné vodě, ale měli by dodržovat zodpovědný přístup při práci s pitnou vodou a nakládat s ní jako s potravinou. Reziduální chlor ve vodě by měl být využíván pouze pro kontrolu stavu sítě a jeho rychlé spotřebě by měla být věnována pozornost a nespoléhat se na to, že chlor si poradí s potenciální kontaminací, a raději klást důraz na multibariérový přístup ochrany systému a snížit riziko možné kontaminace. Dezinfekční residuum výrazně neeliminuje tvorbu biofilmu, pouze zpomalí jeho rozvoj.

Zjištěnými výhodami zdokumentovaných případů provozu bez dezinfekčního činidla bylo, že se do pitné vody nevnašejí cizorodé chemické látky dezinfekčních přípravků, které za určitých okolností mohou tvořit toxické vedlejší produkty dezinfekce a zapříčínovat určité druhy rakoviny. V Amsterdamu se po vynechání dávkování chloru snížily THM až na hodnotu pod detekční limit. Reakcí chloru může dojít k přeměně vysokomolekulárních přírodních organických látek na jednodušší látky, které slouží jako substrát pro bakterie. V žádném ze systémů se nevyskytoval mikrobiologický problém s jakostí vody při absenci dezinfekčního činidla. Pouze docházelo ke krátkodobému zvýšení počtů kolonií z důvodu přestavby biofilmu. V jednom případě, konkrétně v Mladé Boleslavi, měli po snížení dávky chloru na nulovou hodnotu problém s koliformními bakteriemi, byla však zjištěna závada na stropní izolaci jednoho z vodojemů a při deštích docházelo k průsaku povrchové vody. Po odstranění závady byl provoz bezproblémový. V konkrétním případě v České republice se provozovatel setkal se snížením koncentrace železa v síti, které přesahovalo limitní hodnoty i přesto, že ve



zdroji byl obsah železa v normě. Další provozovatel se při provozu s absencí chloru setkal se snížením dusitanů, které v přítomnosti chloru měly zvýšené koncentrace. Posledním přínosem zmíněného provozu je kladné hodnocení vůně a chutě vody spotřebiteli.

Dále byl v diplomové práci popsán proces přechodu na zásobování pitnou vodou bez desinfekčního činidla, který vychází z německé strategie. Nicméně dříve, než provozovatel začne uvažovat o provozu bez chemické dezinfekce, mělo by dojít k prvotnímu posouzení, zda je vodovodní systém vhodný pro zmíněný provoz, to se hlavně týká menších vodovodů, které si provozuje sama obec. V diplomové práci byly sepsány jednotlivé problémy, které se mohou vyskytovat na zdroji vody, úpravě vody a distribuční síti, které by mohly bránit provozu bez desinfekčního činidla. Jednotlivými problémy mohou být: nedostatečná ochrana vodního zdroje, nedostatečná úprava vody vzhledem k jakosti surové vody, špatný technický stav objektu úpravy vody (nezajištěná filtrace vzduchu, absence prahů pod dveřmi akumulací komory aj.), nedodržování hygienických standardů pracovní obsluhy, úniky vody v kombinaci s podtlakovými událostmi aj. Postup prvotního posouzení je znázorněn ve strukturovaném diagramu v *příloze A*. Na prvotní posouzení navazuje zmíněná německá strategie výše doplněná o definování možných nežádoucích stavů a jejich faktorů, které se po bezprostředním ukončení chlorování mohou vyskytnout. Byly definovány tři hlavní nežádoucí stavy, a to NS 1-Zvýšený počet kolonií při teplotě 22 °C a 36 °C, NS 2-Výskyt koliformních bakterií a NS 3-Výskyt bakterií *E. Coli*. Výskyt koliformních bakterií a bakterií *E. Coli* byl rozdělen do dvou nežádoucích stavů, a to z důvodu, že koliformní bakterie jsou vyhláškou limitovány pouze mezní hodnotou, tudíž jejich překročením ztrácí voda příslušnou jakost, nedochází však k přerušení dodávky vody, kdežto u překročení limitní hodnoty *E. Coli*, která je dána nejvyšší mezní hodnotou, musí být dodávka vody bezpodmínečně přerušena a musí být zajištěno náhradní zásobování pitnou vodou.

Prvotní posouzení systému zásobování pitnou vodou pro provoz bez desinfekčního činidla bylo aplikováno na konkrétní vodovodní síť obce Kateřinice. Kateřinice jsou ukázkovým příkladem, kdy si vodovod provozuje sama obec. Na vodovodním systému se vyskytovaly jisté nedostatky v multibariérové ochraně vodovodního systému, jinak řečeno systém nemá dostatečný počet bariér, které minimalizují riziko vzniku mikrobiologické kontaminace, a proto tomuto systému nebylo doporučeno provozovat síť bez dávkování chloru. I přesto, že vodovod neměl v minulosti žádné problémy s mikrobiologickou kontaminací, z hlediska zodpovědnosti provozovatele by se nemělo od dezinfekce upouštět, byť je dezinfekce účinná jen minimálně. Po tomto posouzení nebyl důvod aplikovat nežádoucí stavy na zmíněnou vodovodní síť.

Cílem vodárenských společností by měla být výroba a distribuce pitné vody o vysoké jakosti. To může být dosaženo omezením až vynecháním dávkování chloru, což je prozatím vizí budoucnosti.

## 7 POUŽITÁ LITERATURA

### 7.1 ČESKÁ

- [2] TUHOVČÁK, Ladislav, Jan RUČKA, František KOŽÍŠEK, Petr PUMANN, Jaroslav HLAVÁČ a Miroslav SVOBODA a kol.. *Analýza rizik veřejných vodovodů*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2010. ISBN 978-80-7204-676-8.
- [3] KOŽÍŠEK, František, Jiří KOS a Petr PUMANN. 2006. *Hygienické minimum pro pracovníky ve vodárenství*. Praha.
- [4] PITTER, Pavel. *Hydrochemie: celost. vysokošk. učebnice pro stud. vys. škol chemickotechnologických oborů*. 2., přeprac. a rozš. vyd. Praha: VŠCHT, 1999, 568 s. Ochrana životního prostředí. ISBN 80-030-0525-6
- [6] VOSTRČIL, Josef a Ladislav TUHOVČÁK. 1999. *Vodárenské systémy: WAQUAL. Vývoj metod a řízení vodohospodářských a dopravních systémů*. s. 35.
- [7] *Zpravodaj akciové společnosti Vodovody a kanalizace Mladá Boleslav* [online]. 2014, 14(1) [cit. 2016-10-01]. Dostupné z: <http://www.vakmb.cz/download/zpravodaj/2014-01.pdf>
- [8] ŠAŠEK, Jaroslav. Výhody a nevýhody zbytkového chloru z hlediska mikrobiologického. In: *Pitná voda 2010*. Č. Budějovice: W&ET Team, 2010, s. 6.
- [9] Distribuce pitné vody bez zbytkové chemické dezinfekce: zdůvodnění, strategie a případová studie. In: *Státní zdravotní ústav* [online]. 2014 [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: [http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/bez\\_dezinfekce/Kozisek\\_SOV\\_AK2014.pdf](http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/bez_dezinfekce/Kozisek_SOV_AK2014.pdf)
- [10] HAVRDA, Matěj, vedoucí provozního střediska Přelouč, [2016-11-08], *osobní sdělení*
- [11] KOŽÍŠEK F., JELIGOVÁ H., PUMANN P., ŠAŠEK J.: Stanovisko a úloha hygienické služby při ukončení dezinfekce na skupinovém vodovodu v Mladé Boleslavi. Sborník konference *Pitná voda 2014*, s. 145-150. W&ET Team, Č. Budějovice 2014. ISBN 978-80-905238-1-4
- [12] GREPL, Roman, Vodovody a kanalizace Havlíčkův Brod, a.s., [2016-10-26], *osobní sdělení*
- [13] Chlorování vody a dejvická epidemie. In: *Státní zdravotní ústav* [online]. 2014 [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: [http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/bez\\_dezinfekce/Kozisek\\_SOV\\_AK2014.pdf](http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/bez_dezinfekce/Kozisek_SOV_AK2014.pdf)
- [14] HAMPL, Stanislav. Desetiletá zkušenost s provozem vodovodu Přelouč zdravotně zabezpečených UV zářením. In: *Pitná voda 2010*,. Č. Budějovice: W&ET Team, 2010, s. 6. ISBN 978-80-254-6854-8
- [15] Vyhláška č. 409/2005 Sb. o hygienických požadavcích na výrobky přicházející do přímého styku s vodou na úpravu vody

- [17] DOLEJŠ, Petr a Kateřina VOZOBULOVÁ. *Výsledky ročního provozu hygienického zabezpečení vodovodu z podzemního zdroje UV zářením bez doplňkové desinfekce chlorem* [online]. Chrudim, Praha: VŠCHT Praha a Ekomonitor, s.r.o., 2007 [cit. 2016-08-29]. Dostupné z: [http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/bez\\_dezinfekce/Dolejs\\_VB2007.pdf](http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/bez_dezinfekce/Dolejs_VB2007.pdf)
- [18] STARA, Jiří, Peter BOLHA a Petr DOLEJŠ. Zkušenosti s omezením chemické desinfekce při provozu vodovodu Soběnov. In: *Pitná Voda 2012*. Č. Budějovice: W&ET Team, 2012, s. 5. ISBN 978-80-905238-0-7.
- [19] ŽITNÝ, Tomáš. Praktické zkušenosti provozovatele s ukončím chemické desinfekce. *SOVAK* [online]. 2014, , 3 [cit. 2016-08-29]. Dostupné z: [http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/bez\\_dezinfekce/Zitny\\_konference\\_SOVAK2014.pdf](http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/bez_dezinfekce/Zitny_konference_SOVAK2014.pdf)
- [20] KOŽÍŠEK, František, Andreas KORTH, Hana JELIGOVÁ, Jaroslav ŠAŠEK, Petr PUMANN, Reik NITSCHKE. Distribuce pitné vody bez zbytkové desinfekce: zdůvodnění, strategie a případová studie. *SOVAK* [online]. 2014, (12/2014), 5 [cit. 2016-08-29]. Dostupné z: [http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/bez\\_dezinfekce/Kozisek\\_SOVAK2014.pdf](http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/bez_dezinfekce/Kozisek_SOVAK2014.pdf)
- [21] Změna desinfekce pitné vody z chlorování na UV záření u vodovodu Vrbka. In: *Pitná voda 2008* [online]. České Budějovice: W&ET Team, 2008, s. 2 [cit. 2016-10-29]. ISBN 978-80-254-2034-8. Dostupné z: [http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/bez\\_dezinfekce/Ruzicka\\_Pitna\\_voda\\_Tabor\\_2008.pdf](http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/bez_dezinfekce/Ruzicka_Pitna_voda_Tabor_2008.pdf)
- [22] Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Kraje Vysočina. In: *Prvk.kr-vysocina* [online]. kraj Vysočina: hydrosoft, 2015 [cit. 2016-10-29]. Dostupné z: [http://prvk.kr-vysocina.cz/PDF/KARTY/B\\_11\\_455.pdf](http://prvk.kr-vysocina.cz/PDF/KARTY/B_11_455.pdf)
- [24] STRNADOVÁ, N., L. ČERNÁ a Z. HLADÍKOVÁ. Změna biologické stability pitné vody. In: *Pitná voda 2014*. Č. Budějovice: W&ET Team, 2014, s. 5. ISBN 978-80-905238-1-4.
- [25] AMBROŽOVÁ, Jana. *Aplikovaná a technická hydrobiologie*. 2. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2003. ISBN 80-7080-521-8.
- [26] KORTH, A. a R. NITSCHKE. Provozování vodovodní sítě města Mladá Boleslav bez chemické desinfekce. In: *Pitná voda 2014*. Č. Budějovice: W&ET Team, 2014, s. 8. ISBN 978-80-905238-1-4.
- [30] KOŽÍŠEK, F., P. PUMANN a J. ŠAŠEK. Metodické doporučení SZÚ – Národního referenčního centra pro pitnou vodu pro hodnocení výsledků ukazatelů počty kolonií při 22 °C a 36 °C v pitné vodě. In: *Státní zdravotní ústav* [online]. Praha, 2014 [cit. 2016-09-13]. Dostupné z: [http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/Metodicke\\_doporučení\\_NRC\\_počty\\_kolonii.pdf](http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/Metodicke_doporučení_NRC_počty_kolonii.pdf)
- [31] RUČKA, J., L. TUHOVČÁK a V. KADLECOVÁ. Zákal ve vodovodní síti, metody predikce jeho vzniku a šíření. In: *Moravská vodárenská* [online]. Zlín: Moravská vodárenská, a.s., 2009 [cit. 2016-09-14]. Dostupné z: <http://www.smv.cz/res/archive/024/002777.pdf?seek=1429083263>

- [32] SLÁDEČKOVÁ, Alena. Faktory ovlivňující biologickou stabilitu vody při úpravě a distribuci. In: *Moravská vodárenská* [online]. Zlín, 2000 [cit. 2016-09-27]. Dostupné z: <http://www.smv.cz/res/archive/013/001582.pdf>
- [34] DOPITOVÁ, Markéta. *Vliv chemických desinfekčních metod na bakteriální biofilm*. Brno, 2012. Bakalářská práce. MUNI. Vedoucí práce Doc. MUDr. Filip Růžička, Ph.D.
- [35] ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, Jana. Zajištění zdravotně nezávadné a bezpečné pitné vody v distribuční. In: *Chemické listy* [online]. Praha: Ústav technologie vody a prostředí, FTOP, VŠCHT Praha, 2009 [cit. 2016-09-29]. Dostupné z: [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2009\\_12\\_1041-1046.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2009_12_1041-1046.pdf)
- [37] Patogenita a virulence. *Is.muni* [online]. 2013 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/el/1411/jaro2013/ZLLM0421p/um/39378489/03\\_Patogenita\\_a\\_virulence\\_ZL\\_2013.txt](https://is.muni.cz/el/1411/jaro2013/ZLLM0421p/um/39378489/03_Patogenita_a_virulence_ZL_2013.txt)
- [38] NAGYOVÁ, Viera, Iveta DRASTICHOVÁ, Zuzana VALOVIČOVÁ, Eva KAŇKOVÁ, Tibor MIŠKOVIČ a Eva MIŠKOVIČOVÁ. Chlorovanie: áno či nie? Skúsenosti so skúšobnou prevádzkou verejného vodovodu v Gabčíkove. In: *Pitná voda 2014*. České Budějovice: W&ET Team, 2014, s. 6. ISBN 978-80-905238-1-4.
- [47] Obec Kateřinice. *Obec Kateřinice* [online]. 2014 [cit. 2016-11-28]. Dostupné z: <http://www.obeckaterinice.cz/cs/>
- [48] BENEŠ, J. Provoz vodovodních sítí bez dezinfekce. *SOVAK* [online]. 2000, (03) [cit. 2016-11-29]. Dostupné z: <http://www.mzp.cz/ris/ais-ris-info-copy.nsf/6d13b004071d0140c12569e700154acb/53ef951a7bb30eccc1256c370072c55c?OpenDocument>
- [50] Koliformní bakterie. *Bakterie* [online]. 2013 [cit. 2016-11-30]. Dostupné z: <http://www.bakterie.eu/koliformni-bakterie>
- [52] Bakterie ve vodách a jejich rozdělení. In: *Masaryk university* [online]. Brno [cit. 2016-11-30]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/th/22808/prif\\_d/1\\_UVOD.pdf](https://is.muni.cz/th/22808/prif_d/1_UVOD.pdf)
- [53] ČENĚK, Mašek, *Provozní řád vodovod Kateřinice, 2004*
- [54] KOŽÍŠEK, František. Proč voda s chlorem, proč voda bez chloru. In: *Pitná voda 2010* [online]. Č. Budějovice: W&ET Team, 2010, s. 6 [cit. 2016-12-30]. ISBN 978-80-254-6854-8. Dostupné z: [http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/bez\\_dezinfekce/Kozisek\\_PV2010.pdf](http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/bez_dezinfekce/Kozisek_PV2010.pdf)
- [55] Vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody
- [57] KOŽÍŠEK, František, Jiří PAUL a Josef DATEL. *Zajištění kvality pitné vody při zásobování obyvatelstva malými vodárenskými systémy*. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, 2013. ISBN 978-80-87402-26-9.
- [58] Plány pro zajištění bezpečnosti vody: Řízení kvality pitné vody od povodí ke spotřebiteli. In: *World Health Organisation (WHO)* [online]. Brno: Vodárenská akciová společnost, a.s., 2006 [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/sde\\_wsh\\_05\\_06\\_cesky.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/sde_wsh_05_06_cesky.pdf)

- [59] ČSN 75 0150 *Vodní hospodářství-terminologie vodárenství*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [60] RUČKA, JAN, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí, Žižkova 17, *osobní sdělení*.
- [61] MALÝ, Josef a Jitka MALÁ. *Chemie a technologie vody*. 2., dopl. vyd. Brno: Ardec, 2006, xii, 331 s. ISBN 80-860-2050-9.
- [62] SOVAK ČR: Vodárny v ČR dlouhodobě snižují ztráty v trubní síti. In: *Tretiruka* [online]. 2016 [cit. 2016-12-30]. Dostupné z: <http://www.tretiruka.cz/news/sovak-cr-vodarny-v-cr-dlouhodobě-snižují-ztráty-v-trubní-síti/>
- [66] Petra Bohuslavová Infekce močového traktu způsobené *Pseudomonas aeruginosa*. Brno, 2015. 58 s., 0 s. příl. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Fakulta přírodovědecká, Ústav experimentální biologie. Vedoucí práce Ing. Veronika Holá, Ph.D.
- [67] Možná rizika plynoucích z dezinfekce pitné vody Zdroj: <http://voda.tzb-info.cz/vlastnosti-a-zdroje-vody/8568-mozna-rizika-plynouci-z-dezinfekce-pitne-vody>. In: *Voda.tzb-info.cz* [online]. Brno, 2012 [cit. 2016-12-09]. Dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/vlastnosti-a-zdroje-vody/8568-mozna-rizika-plynouci-z-dezinfekce-pitne-vody>
- [68] DOLEJŠ P., DOBIÁŠ P., BAUDIŠOVÁ D.: Změny koncentrace asimilovatelného organického uhlíku (AOC) podél technologické linky o ozonizaci a filtraci aktivním uhlím. Sborník konference Pitná voda 2008, s. 107-112. W&ET Team, Č. Budějovice 2008. ISBN 978-80-254-2034-8
- [69] RULÍK M.: Biofilmy ve vodárenství, Katedra ekologie a životního prostředí, Přírodovědecká fakulta
- [70] PITTNER, G.A., BERTREL, G., *Point-of-use contamination control of high purity water through continuous ozonation*, *Ultrapure Water* 5(4), pp. 16-22 (1988)
- [71] Markéta Rajnochová Simulace koncentrace chloru ve vodovodní síti. Brno, 2015. 81 s., 3 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Jan Ručka, Ph.D.
- [75] Netuberkulózní mykobakteriízy. In: *Zdravi.euro* [online]. 2008 [cit. 2016-11-09]. Dostupné z: <http://zdravi.euro.cz/clanek/postgradualni-medicina/netuberkulozni-mykobakteriozy-369032>
- [81] HAMAN, Michal. Pasport a posouzení technického stavu vodovodní sítě. Brno, 2013. 66 s., 28 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Jan Ručka, Ph.D..

## 7.2 ZAHRANIČNÍ

- [1] KOOLJ, D. *Microbial Growth on Drinking - Water Supplies*. London: IWA Publishing, 2014. ISBN 9781780400402.
- [5] The Fundamentals of Chlorine Chemistry and Disinfection. In: *Department of natural resources* [online]. Wisconsin, 2007 [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: <http://dnr.wi.gov/regulations/labcert/documents/training/cl2chemistry.pdf>

- [16] ROSARIO-ORTIZ, Fernando, Joan ROSE, Vanessa SPEIGHT, Urs von GUNTEN a Jerald SCHNOOR. How do you like your tap water?: Safe drinking water may not need to contain a residual disinfectant. *Science*. 2016, [online]. [cit. 2016-10-29]. Dostupné z: [https://www.engineering.uiowa.edu/sites/default/files/files/Science%20Perspective%2026%2016%20Schnoor%20912\\_full\\_pd.pdf](https://www.engineering.uiowa.edu/sites/default/files/files/Science%20Perspective%2026%2016%20Schnoor%20912_full_pd.pdf)
- [23] Lpp. *Drinking water supply* [online]. Slovenia [cit. 2016-08-30]. Dostupné z: <http://www.lpp.si/en/about-company/drinking-water-supply>
- [27] PAYMENT, Pierre. Poor efficacy of residual chlorine disinfectant in drinking water to inactivate waterborne pathogens in distribution systems. *Canadian journal of microbiology*. 1999, **45**(8), 7.
- [28] Safe distribution of drinking water without disinfectant residual. In: *Jwrc-net* [online]. Japan: Water Research Center All rights reserved., 2016 [cit. 2016-12-29]. Dostupné z: [http://www.jwrc-net.or.jp/aswin/symposium\\_archive/images/data/009\\_inv\\_an\\_Gertjan-Medema.pdf](http://www.jwrc-net.or.jp/aswin/symposium_archive/images/data/009_inv_an_Gertjan-Medema.pdf)
- [29] SMEETS, P. W. M. H., G. J. MEDEMA a J. C. van DIJK. The Dutch secret: how to provide safe drinking water without chlorine in the Netherlands. In: *Drinking water engineering and science* [online]. Copernicus publications, 2009 [cit. 2016-09-12]. Dostupné z: <http://www.drink-water-eng-sci.net/2/1/2009/dwes-2-1-2009.pdf>
- [33] Quantitative Microbial Risk Assessment. *Center for advancing microbial risk assessment* [online]. Michigan: Michigan State University Board of Trustees [cit. 2016-09-29]. Dostupné z: <http://www.camra.msu.edu/qmra.html>
- [36] MERLOCA, J. Is your water safe? In: *Merloca.com: Take control of your health* [online]. New York, [cit. 2016-09-30]. Dostupné z: <http://www.cwwltd.com/content/pdf/Chlorine-Special-Report.pdf>
- [39] KORTH A., WRICKLE B. Entwicklung und Überprüfung einer Strategie zur Ablösung der chemischen Desinfektion bei Sicherung mikrobiologisch stabiler Verhältnisse im Leitungsnetz. Abschlussbericht zum DVGW-Forschungsvorhaben W 18/00. 2004
- [40] KORTH Andreas, Georg HENNEKES a Frank KLINKHAMMER. Außerbetriebnahme der Chlorung in Wasserwerken des Wasserversorgungsverbandes Euskirchen-Swisttal. 2011
- [41] Water supply in Denmark. In: *Geological survey of Denmark and greenland* [online]. [cit. 2016-10-29]. Dostupné z: [http://www.geus.dk/program-areas/water/denmark/vandforsyning\\_artikel.pdf](http://www.geus.dk/program-areas/water/denmark/vandforsyning_artikel.pdf)
- [42] ROSARIO - ORTIZ, Fernando a Vanessa SPEIGHT. Can drinking water be delivered without disinfectants like chlorine and still be safe? In: *The conversation* [online]. UK, 2016 [cit. 2016-10-29]. Dostupné z: <http://theconversation.com/can-drinking-water-be-delivered-without-disinfectants-like-chlorine-and-still-be-safe-55476>
- [43] TECHNEAU: Evaluation report on operational methods and maintenance schemes - Applied in praxis and compared to best practice. In: *Techneau* [online]. 2006 [cit. 2016-12-30]. Dostupné z: [https://www.techneau.org/fileadmin/files/Publications/Publications/Deliverables/D5.6.1\\_and\\_D5.6.2.pdf](https://www.techneau.org/fileadmin/files/Publications/Publications/Deliverables/D5.6.1_and_D5.6.2.pdf)



- [44] *Technical rule code of practice W 290: Drinking water disinfection - operational and requirement criteria*. 1. Germany Bonn: DVGW German technical and scientific association for gas and water, 2005. ISBN 0176-3504.
- [45] *Heterotrophic Plate Counts and Drinking-water Safety* [online]. 1. London: World Health Organization, 2003 [cit. 2016-11-24]. ISBN 9241562269. Dostupné z: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/HPCFull.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/HPCFull.pdf)
- [46] LECHEVALLIER, Mark W., Richard W. GULLICK, Mohammad R. KARIM, Melinda FRIEDMAN a James E. FUNK. The potential for health risks from intrusion of contaminants into the distribution system from pressure transients. *Journal of Water and Health* [online]. 2003, (1), 12 [cit. 2016-11-30]. Dostupné z: <http://jwh.iwaponline.com/content/ppiwajwh/1/1/3.full.pdf>
- [49] Coliform Bacteria and Drinking Water. In: *Washington state of department of Health* [online]. Washington, 2016 [cit. 2016-11-30]. Dostupné z: <http://www.doh.wa.gov/portals/1/Documents/Pubs/331-181.pdf>
- [51] Breaks and maintenance work in the water distribution systems and gastrointestinal illness: a cohort study. *International Journal of Epidemiology* [online]. 2007, 8 [cit. 2016-11-30]. Dostupné z: <http://ije.oxfordjournals.org/content/36/4/873.full.pdf+html>
- [56] *Drinking water distribution system: assessing and reducing risks* [online]. 1. Washington: National academy of sciences, 2006 [cit. 2016-12-21]. ISBN 100-309-6632-2. Dostupné z: <https://www.nap.edu/read/11728/chapter/1>

### 7.3 OBRÁZKY

- [63] Dezinfekce vody chlórdioxidem. *Euroclean* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: <http://euroclean.cz/dezinfekce-vody/>
- [64] A *Clostridium perfringens*. *Marlerblog* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: <http://www.marlerblog.com/case-news/a-clostridium-perfringens-multiple-sclerosis-link/#.WGIschvhDct>
- [65] Free chlorine distribution with ph. [online] [cit. 2016-10-06]. Dostupné z: [https://www.google.cz/search?q=free%20chlorine%20distribution%20with%20ph&biw=1366&bih=657&source=lnms&tbn=isch&sa=X&sqi=2&ved=0ahUKEwjz8unA74vMAhWCXhoKHUZ4CkYQ\\_AUIBigB#imgsrc=RWXHi-loYpEIFM%3A](https://www.google.cz/search?q=free%20chlorine%20distribution%20with%20ph&biw=1366&bih=657&source=lnms&tbn=isch&sa=X&sqi=2&ved=0ahUKEwjz8unA74vMAhWCXhoKHUZ4CkYQ_AUIBigB#imgsrc=RWXHi-loYpEIFM%3A)
- [72] Kateřinice. *Mapy.cz* [online]. [cit. 2016-12-09]. Dostupné z: <http://mapy.cz/letecka?x=17.8900944&y=49.3834080&z=13&l=0>
- [73] Bactericidal microorganisms. *Saniers* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: <http://www.saniers.com/empresa/bacterias.html>
- [74] Tracing back vibrio cholerae. In: *Times* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: <http://nepalitimes.com/article/Nepali-Times-Buzz/Dhanvantari-vibrio-cholerae,709>
- [76] Type IV pili influence swarming of *Pseudomonas aeruginosa*: an overview. *News medical life sciences* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: <http://www.news-medical.net/whitepaper/20150526/Type-IV-pili-influence-swarming-of-Pseudomonas-aeruginosa-an-overview.aspx>

- [77] Sweet Revenge on Rotavirus. *International milk genomics consortium* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: <http://milkgenomics.org/article/sweet-revenge-rotavirus/>
- [78] Hepatitis A. *Turbosquid* [online]. 2016 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: <http://www.turbosquid.com/3d-models/hepatitis-virus-3d-model/535245>
- [79] Giardia-Lambliia. *Wiki* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: [http://wiki.ggc.edu/wiki/File:Giardia-Lambliia\\_2.jpg](http://wiki.ggc.edu/wiki/File:Giardia-Lambliia_2.jpg)
- [80] Cryptosporidium. *Trinityusa* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: [http://www.trinityusa.com/PointOfCare/Pages/Cryptosporidium.aspx?ProductNumber=1206620&Filter=\\*1206620\\*](http://www.trinityusa.com/PointOfCare/Pages/Cryptosporidium.aspx?ProductNumber=1206620&Filter=*1206620*)



## SEZNAM TABULEK

Tabulka 2.1	Seznam vodovodu v ČR dodávající vodu bez desinfekčního činidla [14,63, 18,21,22,64,9,19,20] .....	14
Tabulka 2.2	Mikrobiologická jakost vody [17] .....	18
Tabulka 2.3	Srovnání investic provozu při použití chlornanu sodného a UV lampy .....	20
Tabulka 2.4	Mikrobiologická jakost vody [38] .....	22
Tabulka 2.5	Vývoj požadavků na obsah chloru v pitné vodě v ČR [54] .....	24
Tabulka 3.1	Hodnoty mikrobiální inaktivace pro log 2 při 5 °C pro pH ∈ (6, 9).....	38
Tabulka 3.2	Doba působení volného chloru o koncentraci 1,0 mg·l <sup>-1</sup> , pH = 7,5 a teplota t = 25 °C [8] .....	38
Tabulka 4.1	Analýza četností - referenční stupnice P0 až P3 pravděpodobnosti vzniku nežádoucího stavu [2] .....	60
Tabulka 4.2	Zařazení dílčích i celkových následků do referenčních hodnotících stupnic [2].. .....	61
Tabulka 4.3	Hodnotící stupnice zdravotních následků [2] .....	61
Tabulka 4.4	Hodnotící stupnice ekonomických následků [2].....	62
Tabulka 4.5	Hodnotící stupnice sociálně ekonomických následků [2].....	62
Tabulka 4.6	Hodnocení faktoru formace biofilmu pro stanovení „P“ nežádoucího stavu zvýšený počet kolonií. ....	68
Tabulka 4.7	Hodnocení faktoru biologická stabilita vody pro stanovení „P“ nežádoucího stavu: .....	70
Tabulka 4.8	Hodnocení faktoru doba zdržení vody v síti pro stanovení „P“ nežádoucího stavu: .....	71
Tabulka 4.9	Hodnocení faktoru přítomnost sedimentu na dně potrubí a dně akumulární nádrže pro stanovení „P“ nežádoucího stavu (metoda FMECA): .....	73
Tabulka 4.10	Hodnocení faktoru koncentrace volného chloru před ukončením jeho dávkování pro stanovení „P“ nežádoucího stavu:.....	74
Tabulka 4.11	Hodnocení faktoru teplota vody pro stanovení „P“ nežádoucího stavu:.....	75
Tabulka 4.12	Hodnocení faktoru materiál pro stanovení „P“ nežádoucího stavu:.....	75
Tabulka 4.13	Hodnocení faktoru porušení fyzické a hydraulické integrity vodovodního systému pro stanovení „P“ nežádoucího stavu:.....	78
Tabulka 4.14	Hodnocení faktoru teplota vody pro stanovení „P“ nežádoucího stavu:.....	79
Tabulka 4.15	Hodnocení faktoru porušení fyzické a hydraulické integrity vodovodního systému pro stanovení „P“ nežádoucího stavu:.....	81
Tabulka 5.1	Analýza četností – stupnice hodnocení rizikových faktorů [2] .....	59

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1	Schéma multibariérového přístupu [16] .....	5
Obr. 1.2	Řízení rizik v systému zásobování pitnou vodou na základě multibariérové ochrany [57].....	6
Obr. 2.1	Ztráty vody ve vybraných evropských zemích 2008 [29,62] .....	13
Obr. 2.2	Oblasti prozkoumání při QMRA [33] .....	30
Obr. 2.3	Rámec WHO 2004.....	31
Obr. 3.1	Distribuční diagram [65] .....	35
Obr. 3.2	Efektivita kyseliny chlorné, chlornanu a dichloraminu vs. bakterie E. coli [5] ....	36
Obr. 3.3	Dezinfekční účinnost molekulárního chloru [3] .....	37
Obr. 3.4	Dezinfekční účinnost chloraminu [3] .....	37
Obr. 3.5	Dezinfekční účinnost oxidu chloričitého [3] .....	38
Obr. 3.6	Tabulka CT faktorů .....	39
Obr. 3.7	Efektivita chloru pozn: FAC, ppm (free available chlorine, part per milion) [5]..	39
Obr. 3.8	Enterococcus faecalis [73].....	41
Obr. 3.9	Clostridium perfringens [64] .....	41
Obr. 3.10	Vibrio cholerae [74].....	42
Obr. 3.11	Salmonella [73].....	42
Obr. 3.12	Escherichia coli [73].....	43
Obr. 3.13	Legionella [63] .....	43
Obr. 3.14	Pseudomonas aeruginosa [76] .....	43
Obr. 3.15	Rotavirus [77] .....	44
Obr. 3.16	Vir hepatitidy A [78] .....	44
Obr. 3.17	Cryptosporidium [80] .....	45
Obr. 3.18	Giardia intestinalis [79] .....	45
Obr. 3.19	Inaktivace E. coli (vlevo) a Clostridium perfringens (vpravo), červená při koncentraci chloru 0,2/0,1 mg·l <sup>-1</sup> , zelená červená při koncentraci chloru 0,9/0,7 mg·l <sup>-1</sup> [27].....	47
Obr. 3.20	Somatic coliphages (vlevo), Polivirus (vpravo), červená při koncentraci Cl <sub>2</sub> 0,2/0,1 mg·l <sup>-1</sup> , zelená červená při koncentraci chloru 0,9/0,7 mg·l <sup>-1</sup> [27].....	47
Obr. 4.1	Matice rizik [2] .....	63
Obr. 4.2	Diagram 1 NS-Zvýšený počet kolonií .....	76
Obr. 4.3	Diagram 2 NS-Výskyt koliformních bakterií .....	79
Obr. 4.4	Diagram NS 3-Výskyt bakterie E. Coli. ....	82

---

Obr. 5.1	Obec Kateřinice [72] .....	83
Obr. 5.2	Pohled do studny .....	84
Obr. 5.3	Armaturní šachta.....	84
Obr. 5.4	Pohled na pískové filtry, viditelná koroze přívodního žlabu a poškozená betonová konstrukce přepážek. ....	86
Obr. 5.5	Pohled na vstup do akumulární nádrže, vlevo viditelná silná koroze zárubní a bezprahové řešení vstupu, vpravo dávkovač chlornanu sodného.....	87
Obr. 5.6	Spotřeba chloru před proplachem [71] .....	88

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

%...procento

°C...jednotka teploty – stupeň celsia

m·s<sup>-1</sup>...jednotka rychlosti – metr za sekundu

pg ATP/cm<sup>2</sup>... jednotky biomasového produkčního potenciálu – piko gram adenosin trifosfátu  
na cm plochy

mg·l<sup>-1</sup>... jednotka koncentrace – miligram na litr

m·s<sup>-1</sup>...jednotka rychlosti – metr za sekundu

MPa ...jednotka tlaku – megapascal

a.s....akciová společnost

AOC... asimilovatelný organický uhlík

BDOC .... biodegradable dissolved organic carbon (biologicky rozložitelný rozpuštěný organický uhlík)

BOM ... biodegradable organic matter (biologicky rozložitelné organické látky)

BPP ... biomasový produkční potenciál

cca ...circa (přibližně)

C...následek, důsledek

C<sub>ZRD</sub>... Zdravotní následky

C<sub>EKON</sub>... ekonomické následky

C<sub>SOC</sub>... sociálně ekonomické následky

C<sub>ENV</sub>... environmentální následky

Ct ... faktor dezinfekčních činidel na bázi chloru

ČR ... Česká republika

ČS...čerpací stanice

DBP ... disinfection by products (vedlejší produkty dezinfekce)

DN ... jmenovitá světlost

DOC... dissolved organic carbon (rozpuštěný organický uhlík)

DTP... dolní tlakové pásmo

E. Coli... Escherichia coli

EU ... Evropská unie

ES ... evropská směrnice

EPA ... Environmental Protection Agency

EPS ... extracelulární polymerní substance

F ... faktor

FAC - free available chlorine (volný aktivní chlor)

GAU ... granulované aktivní uhlí  
HDPE...vysokohustotní polyetylen (High density polyethylene)  
HTP... horní tlakové pásmo  
JČ ...jihočeský  
KHS ... krajská hygienická stanice  
KN ... kategorie následků  
KTJ ... kolony tvořící jednotky  
MDOD ... mean dissolved oxygen difference (průměr rozdílu rozpuštěného kyslíku)  
MH ... mezní hodnota  
MZ ... ministerstvo zdravotnictví  
N/A ...údaj se nepodařilo zjistit  
NMH ... nejvyšší mezní hodnota  
NS...nežádoucí stav  
Obr ... obrázek  
P...pravděpodobnost  
pg ATP ... pikogram adenosin tri fosfát  
PE ... polyetylen  
PHO ... pásmo hygienické ochrany  
PVC ... polyvinylchlorid  
QMRA ... kvantitativní hodnocení mikrobiálního rizika  
R... riziko  
SZU ... státní zdravotní ústav  
SZV...systém zásobování vodou  
THM ... trihalometany  
TOC...celkový organický uhlík  
USA ... spojené státy americké  
US ... spojené státy  
ÚV ... úpravna vody  
VaK ... vodovody a kanalizace  
VB ... Velká Británie  
VDJ ... vodojem  
WHO ... world health organization (světová zdravotnická organizace)  
WSP ... water safety plan (plány pro bezpečné zásobování vodou)  
Zás...zásobovaných  
ŽB ... železobeton

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha A – Prvotní posouzení vhodnosti systému zásobování pitnou vodou pro na přechod provoz bez dezinfekčního činidla

Příloha B – Strukturovaný diagram při přechodu na zásobování vodou bez dezinfekčního činidla a výskyt možných nežádoucích stavů

## SUMMARY

The diploma thesis focused on water distribution systems which do not use chlorine-based disinfectants. In the first part of the thesis, documented cases of systems that do not use disinfectant during production or distribution of drinking water were described. In the Czech Republic, the city of Mladá Boleslav is a good example of water supply system distributing water without disinfectant. It is the largest water supply system using this approach in the Czech Republic. The most important foreign examples are Germany, which proposed a strategy for transition to drinking water without dosing of chlorine, and the Netherlands, which defined the operators approach to drinking water supply through water utilities that do not use the disinfectants.

The German strategy describes 3 possible situations; the first is water supply with an absolute absence of disinfectant. That can be possible only if it uses a good protection of the underground water sources. The second situation dismisses the post-chlorination. The third situation uses disinfection using UV light instead of the chemical disinfection.

Furthermore, the impact of chlorine-based disinfectant on the microbiological quality of water was closely analysed. It was found that the concentration of chlorine maintained in the water systems in the Czech Republic cannot eliminate secondary microbial contamination because the pathogen resistance differs significantly. Chlorine can inactivate only indicator bacteria such as *E. coli* or coliform bacteria, because these organisms are sensitive to chlorine. Therefore, operators should not rely on the content of residual chlorine in drinking water, but rather should use the multi-barrier approach of protection.

The advantages of documented cases of operation without the use of disinfectant were that drinking water does not contain foreign chemical disinfectants, which can produce toxic by-products of disinfection and cause certain types of cancer. There did not occur any microbiological water quality problems in the analysed systems which did not use disinfectant. There were only short-term increments in the numbers of colonies due to rebuilding of a biofilm. In one case, specifically in Mladá Boleslav, there was a problem with coliform bacteria after lowering the dose of chlorine to zero. However, there was a fault on a water tank ceiling insulation and surface water leaked into the tank during heavy rains. In other cases in the Czech Republic, water supply system operator faced reduction of iron concentration in supply networks which was higher than limit values, even though the source iron concentration limit was standard. Another operator met with reduction of nitrites concentration, which in the presence of chlorine had elevated concentrations. The final benefits of the disinfectant-free approach are consumers positive response to the taste and smell of their drinking water.

Next, the diploma thesis describes the process of first assessment of water supply structure to determine if the water supply structure is suitable for the application of the disinfectant-free operation. Further, the process of transition to drinking water distribution system without disinfectant was described. It is based on the German strategy. Moreover, three undesired events, which may occur with ending of dosing of disinfectant, were determined.

The first assessment process was applied to the water supply system in village Kateřinice. It was determined that this water network does not meet the necessary requirements for the application of the disinfectant-free approach, particularly the multibarrier protection of water supply system is inadequate. Therefore, the analysed approach of disinfectant-free water supply cannot be used in this distribution system